



TESIS - TE142599

# **RANCANG BANGUN DYE-SENSITIZED SOLAR CELL MENGGUNAKAN TEKNIK PELAPISAN ULTRASONIC ATOMIZER**

MUHAMMAD AULIA RAHMAN SEMBIRING  
07111550040001

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Muhammad Rivai, S.T., M.T.

Dr. Tri Arief Sardjono, S.T., M.T.

PROGRAM MAGISTER

BIDANG KEAHLIAN TEKNIK ELEKTRONIKA

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2018





TESIS - TE142599

# **RANCANG BANGUN DYE-SENSITIZED SOLAR CELL MENGGUNAKAN TEKNIK PELAPISAN ULTRASONIC ATOMIZER**

MUHAMMAD AULIA RAHMAN SEMBIRING  
07111550040001

DOSEN PEMBIMBING  
Dr. Muhammad Rivai, S.T., M.T.  
Dr. Tri Arief Sardjono, S.T., M.T.

PROGRAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK ELEKTRONIKA  
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2018



## LEMBAR PENGESAHAN


Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Magister Teknik (M.T)  
di  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh:

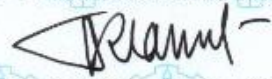
Muhammad Aulia Rahman Sembiring  
NRP. 07111550040001

Tanggal Ujian : Juli 2018  
Periode Wisuda : September 2018

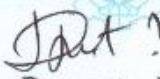
Disetujui oleh:

  
1. Dr. Muhammad Rivai, S.T., M.T.  
NIP: 196904261994031003


(Pembimbing I)

  
2. Dr. Tri Arief Sardjono, S.T., M.T.  
NIP: 197002121995121001

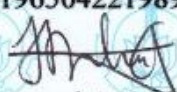
(Pembimbing II)

  
3. Ir. Djoko Purwanto, M.Eng., Ph.D.  
NIP: 196512111990021002

(Penguji)

  
4. Ir. Totok Mujiono, M.Ikom, Ph.D.  
NIP: 196504221989031001

(Penguji)

  
5. Muhammad Attamimi, B.Eng., M.Eng., Ph.D.  
NPP: 1985201711039

(Penguji)

  
Dekan Fakultas Teknologi Elektro

  
Dr. Tri Arief Sardjono, S.T., M.T.  
NIP. 197002121995121001

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tesis saya dengan judul **“RANCANG BANGUN DYE-SENSITIZED SOLAR CELL MENGGUNAKAN TEKNIK PELAPISAN ULTRASONIC ATOMIZER”** adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 3 Juli 2018



Muhammad Aulia Rahman S.

NRP. 07111550040001

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



# **RANCANG BANGUN DYE-SENSITIZED SOLAR CELL MENGUNAKAN TEKNIK PELAPISAN ULTRASONIC ATOMIZER**

Nama mahasiswa : Muhammad Aulia Rahman Sembiring  
NRP : 07111550040001  
Pembimbing : 1. Dr. Muhammad Rivai, S.T., M.T.  
2. Dr. Tri Arief Sardjono, S.T., M.T.

## **ABSTRAK**

*Dye-sensitized solar cell* (DSSC) memiliki keunggulan yaitu mudah dalam manufaktur dibandingkan sel surya berbasis silikon. DSSC tidak mengandung racun dan bisa dirancang di suhu ruangan. Peningkatan efisiensi DSSC terus dikembangkan dan hingga saat ini efisiensi maksimal yang berhasil didapatkan sekitar 11%. Pada penelitian ini fabrikasi DSSC dilakukan dengan metode *ultrasonic atomizer* untuk pelapisan *dye* organik pada  $\text{TiO}_2$ . Substrat yang digunakan merupakan jenis *Fluorine-doped Tin Oxide* (FTO) yang digunakan sebagai tempat mengalirnya muatan.  $\text{TiO}_2$  sebagai jalur loncatan elektron dan pengikat molekul *dye*. *Dye* digunakan untuk menyerap foton dan membantu menghasilkan listrik. *Dye* organik yang digunakan adalah daun pucuk merah. Pasangan redoks *iodine/triiodide* digunakan untuk menghasilkan elektrolit. Sedangkan karbon digunakan sebagai *counter-electrode* pada DSSC. Lapisan  $\text{TiO}_2$ , *dye* organik, elektrolit, dan *counter-electrode* disusun serta dikombinasikan dengan struktur berlapis sebagai lapisan donor-akseptor. Pengujian sel didapatkan bahwa DSSC yang terlapis *dye* memiliki nilai tegangan open circuit sebesar 105,6 mV, arus short circuit 4,6  $\mu\text{A}$  dan daya maksimal 122,95 nW. Nilai DSSC terlapis *dye* lebih tinggi dibandingkan dengan DSSC yang tidak terlapis *dye*. Penyerapan cahaya efektif dalam DSSC yang terlapis *dye* yaitu cahaya warna biru.

Kata kunci: DSSC, *Organic Dye*,  $\text{TiO}_2$ , *Ultrasonic Atomizer*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DESIGN OF DYE-SENSITIZED SOLAR CELL USING ULTRASONIC ATOMIZER` COATING METHOD

By : Muhammad Aulia Rahman Sembiring  
Student Identity Number :07111550040001  
Supervisor(s) :1. Dr. Muhammad Rivai, S.T., M.T.  
2. Dr. Tri Arief Sardjono, S.T., M.T.

### ABSTRACT

Dye-sensitized solar cell (DSSC) has the advantage of being easy to manufacture compared to silicon-based solar cells. DSSC does not contain toxins and can be designed at room temperature. The efficiency improvement of DSSC continues to be developed and to date the maximum efficiency that has been achieved is around 11%. In this study DSSC fabrication was carried out by ultrasonic atomizer method for coating organic dye on  $\text{TiO}_2$ . The substrate used is a type of Fluorine-doped Tin Oxide (FTO) which is used as a place to load the contents.  $\text{TiO}_2$  is an electron jumping path and a dye molecule binder. Dye is used to absorb photons and help produce electricity. Organic dye used is *Syzygium Oleana* leaves. The redox iodine / triiodide pair is used to produce electrolytes. While carbon is used as a counter-electrode in DSSC.  $\text{TiO}_2$  layers, organic dyes, electrolytes, and counter-electrodes are arranged and combined with layered structures as donor-acceptor layers. Cell testing found that the DSSC which is dye-coated has an open circuit voltage value of 105.6 mV, 4.6  $\mu\text{A}$  short circuit current and a maximum power of 122.95 nW. DSSC's dye-coated value is higher than DSSC which is not dye-coated. Light absorption is effective in DSSC coated with dye that is blue light.

Keywords: DSSC, Organic Dye,  $\text{TiO}_2$ , Ultrasonic atomizer

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas segala nikmat-Nya lah tesis ini dapat diselesaikan. Tesis berjudul **“RANCANG BANGUN DYE-SENSITIZED SOLAR CELL MENGGUNAKAN TEKNIK PELAPISAN ULTRASONIC ATOMIZER”** ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Magister Teknik (MT) pada Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan tesis ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan ketulusan dan kerendahan hati penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Muhammad Rivai, ST., MT. dan Bapak Dr. Tri Arief Sardjono, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak memberikan saran, bantuan, serta sabar dalam membimbing penulis.
2. Bapak Ir. Djoko Purwanto, M.Eng., Ph.D., Bapak Ir. Totok Mujiono, M.Ikom., Ph.D., MT. dan Bapak Muhammad Attamimi, B.Eng., M.Eng., Ph.D. selaku Dosen Penguji Ujian Sidang Tesis atas saran dan masukannya.
3. Bapak Dr. Eng. Ardyono Priyadi selaku ketua Jurusan Teknik Elektro.
4. Nande dan Ayah tercinta, atas segala dukungan dan doanya hingga terselesaikannya tesis ini.
5. Pihak lain yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Pada akhirnya, penulis menyadari bahwa tesis ini masih belum sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun. Penulis berharap semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi serta bagi masyarakat.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS .....	v
ABSTRAK .....	iii
ABSTRACT .....	v
KATA PENGANTAR .....	vii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR TABEL .....	xv
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan .....	2
1.4 Manfaat Penelitian .....	3
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA .....	5
2.1 Kajian Penelitian Terkait .....	5
2.1.1 <i>Ultrasonic Atomization</i> Frekuensi Tinggi dengan Pulsa Eksitasi .....	5
2.1.2 Fabrikasi DSSC menggunakan Metode Elektro-statis <i>Atomization</i> ..	6
2.1.3 Fabrikasi DSSC menggunakan Metode Elektro-statis <i>Atomization</i> ..	7
2.1.4 Diagram <i>Fishbone</i> .....	8
2.2 Teori Dasar .....	9
2.2.1 <i>Dye-Sensitized Solar Cell</i> (DSSC) .....	9
2.2.2 Karakteristik Sel Surya .....	11
2.2.3 Prinsip Kerja DSSC .....	12
2.2.4 Material Penyusun DSSC .....	13
2.2.5 Teknik Pelapisan Ultrasonik Atomisasi .....	16
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN .....	19
3.1 Fabrikasi dan Pengukuran DSSC .....	19
3.2 Perlakuan Sampel dan Variabel Input .....	20
3.3 Variabel Output dan Pengukuran .....	21

3.4.	Pembuatan Larutan Elektrolit.....	22
3.5.	Pembuatan Larutan <i>Dye</i> .....	23
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN .....		26
4.1	Persiapan Alat dan Bahan.....	26
4.2	Persiapan Material .....	27
4.2.1	Persiapan Kaca TCO .....	27
4.2.2	Pembuatan Larutan Elektrolit.....	28
4.2.3	Pembuatan Larutan <i>Dye</i> .....	28
4.2.4	Pembuatan Pasta TiO <sub>2</sub> .....	29
4.2.5	Pelapisan Pasta TiO <sub>2</sub> pada Kaca TCO.....	29
4.2.6	Proses <i>Firing</i> Pasta TiO <sub>2</sub> .....	30
4.2.7	Pelapisan Larutan Klorofil ( <i>Dye</i> ) Dalam TiO <sub>2</sub> .....	31
4.2.8	Pembuatan <i>Counter-Electrode</i> Karbon .....	31
4.2.9	Pemberian Elektrolit.....	32
4.2.10	Perakitan DSSC .....	32
4.3	Pengujian DSSC Tanpa <i>Dye</i> Pertama Terhadap Jarak dengan Lampu Pijar .....	33
4.4	Pengujian DSSC Tanpa <i>Dye</i> Kedua Terhadap Jarak dengan Lampu Pijar .....	34
4.5	Pengujian DSSC dengan <i>Dye</i> Terhadap Jarak dengan Lampu Pijar .....	35
4.6	Hasil Pengujian dan Analisa DSSC.....	36
4.6.1	Hasil Pengujian DSSC Pertama Tanpa <i>Dye</i> .....	38
4.6.2	Hasil Pengujian DSSC Kedua Tanpa <i>Dye</i> .....	40
4.6.3	Hasil Pengujian DSSC dengan <i>Dye</i> .....	42
4.7	Pengujian DSSC dengan <i>Dye</i> Terhadap Red Green Blue LED .....	44
4.8	Pengujian DSSC dengan <i>Dye</i> Terhadap Cahaya Matahari .....	47
4.9	Perbandingan DSSC dengan Teknik Pelapisan Ultrasonic Atomisasi dan Tidak Menggunakan Teknik Pelapisan Terhadap Cahaya Matahari .....	49
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....		52
5.1	Kesimpulan.....	52
5.2	Saran.....	52
DAFTAR PUSTAKA.....		54



LAMPIRAN.....	58
RIWAYAT HIDUP PENULIS .....	78

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Proses Atomisasi dari Lempeng Piezokeramik (Lozano, 2003) .....	6
Gambar 2.2	Metode deposisi elektro-statis <i>atomization</i> . (Fangxiao, 2013) .....	8
Gambar 2.3	Diagram <i>fishbone</i> .....	9
Gambar 2.4	Struktur Standar DSSC. ....	10
Gambar 2.5	Prinsip Kerja Dan Level Energi DSSC. ....	11
Gambar 2.6	Karakteristik Kurva I-V pada Sel Surya. ....	12
Gambar 2.7	Skema Kerja DSSC .....	13
Gambar 2.8	Struktur Kimia (a) Klorofil a dan (b) Klorofil b. (Sholeh, 2013).....	15
Gambar 2.9	Struktur Piezoelektrik Yang Menggerakan Ultrasonic Atomizer ....	17
Gambar 2.10	Perubahan Bentuk Dari Lubang Taper .....	18
Gambar 2.11	Prinsip Kerja Piezoelektrik Dalam Mode Charging Dan Atomisasi .....	18
Gambar 3.1	Fabrikasi dan Pengukuran DSSC. ....	19
Gambar 3.2	Rangkaian Pengujian (a) Pengukuran Voc dan (b) Pengukuran Isc ..	23
Gambar 3.3	Perancangan DSSC .....	24
Gambar 4.1	Kaca TCO yang Siap Digunakan dengan Dimensi 2 x 2 cm <sup>2</sup> .....	27
Gambar 4.2	(a) Daun Pucuk merah yang Telah Dihaluskan (b) Proses Homogenisasi Klorofil Dengan Pelarut (c) <i>Dye</i> siap dilapiskan .....	29
Gambar 4.3	Area pada Kaca TCO yang Telah Dibuat.....	30
Gambar 4.4	Pasta TiO <sub>2</sub> Sebelum (kiri) dan Sesudah (kanan) Dideposisi pada Kaca.....	30
Gambar 4.5	Pasta TiO <sub>2</sub> Sebelum (kiri) dan Sesudah (kanan) Melalui Proses <i>Firing</i> .....	31
Gambar 4.6	(a) Mist maker, (b) wadah <i>dye</i> , dan (c) lapisan <i>dye</i> yang sudah terlapis di TiO <sub>2</sub> .....	31
Gambar 4.7	(a) Proses Pembuatan <i>Counter-Electrode</i> (kiri) (b) <i>counter- electrode</i> yang Telah Jadi (kanan). ....	32
Gambar 4.8	Lapisan Fotoelektroda dan <i>Counter-Electrode</i> yang Telah Siap Dirangkai.....	33
Gambar 4.9	Hasil Perakitan DSSC. ....	33
Gambar 4.10	Bentuk TiO <sub>2</sub> dalam Perbesaran 4000 kali.....	33
Gambar 4.11	Panjang Gelombang dari Lampu Philips Tornado 8 W. ....	36
Gambar 4.12	Grafik Perbandingan Tegangan DSSC terhadap Jarak. ....	37
Gambar 4.13	Grafik Perbandingan Arus DSSC Terhadap Jarak. ....	37
Gambar 4.14	Grafik perhitungan nilai m dan y .....	38
Gambar 4.15	Grafik Karakteristik I-V pada DSSC Pertama Tanpa Dye.....	39
Gambar 4.16	Grafik perhitungan nilai m dan y .....	40
Gambar 4.17	Grafik Karakteristik I-V pada DSSC Kedua Tanpa Dye. ....	41
Gambar 4.18	Grafik perhitungan nilai m dan y .....	42

Gambar 4.19	Grafik Karakteristik I-V pada DSSC dengan Dye.....	43
Gambar 4.20	Spektrum LED Merah dengan Panjang Gelombang 630 nm. ....	45
Gambar 4.21	Spektrum LED Hijau dengan Panjang Gelombang 520 nm. ....	46
Gambar 4.22	Spektrum LED Biru dengan Panjang Gelombang 450 nm.....	46
Gambar 4.23	Perbandingan Tegangan Keluaran antar LED RGB. ....	47
Gambar 4.24	Perbandingan Tegangan Keluaran antar LED RGB. ....	47
Gambar 4.25	Pengujian Tegangan dan Pencahayaannya DSSC terhadap Cahaya Matahari. ....	48
Gambar 4.26	Hasil Uji DSSC terhadap Sinar Matahari .....	49
Gambar 4.27	Pengujian Tegangan DSSC dengan Terlapisi Dye dari Bayam terhadap Cahaya Matahari.....	50

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1Material DSSC Dye Buah Pucuk Merah .....	6
Tabel 4.1Pengukuran Pencahayaan, Tegangan dan Arus untuk DSSC Terhadap Jarak. ....	34
Tabel 4.2Pengukuran Pencahayaan, Tegangan dan Arus untuk DSSC Terhadap Jarak. ....	35
Tabel 4.3Pengukuran Pencahayaan, Tegangan dan Arus untuk DSSC Terhadap Jarak. ....	35
Tabel 4.4Hasil Perhitungan $V_{MP}$ dan $I_{MPP}$ DSSC Pertama Tanpa Dye.....	39
Tabel 4.5Hasil Perhitungan $V_{MP}$ dan $I_{MPP}$ DSSC Pertama Tanpa Dye.....	41
Tabel 4.6Hasil Perhitungan $V_{MP}$ dan $I_{MPP}$ DSSC dengan Dye. ....	43
Tabel 4.7Karakteristik I-V dari DSSC .....	44
Tabel 4.8Perbandingan antar LED RGB dengan pencahayaan yang sama. ....	46
Tabel 4.9Pengujian DSSC dengan Dye terhadap Cahaya Matahari .....	48
Tabel 4.10Perbandingan DSSC Dye terhadap Cahaya Matahari.....	49

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Kebutuhan energi di dunia, khususnya di Indonesia semakin bertambahnya waktu semakin meningkat. Menurut kajian Outlook Energi Indonesia. Ketergantungan terhadap energi fosil terutama minyak bumi dalam pemenuhan konsumsi di dalam negeri masih tinggi yaitu sebesar 96% (minyak bumi 48%, gas 18% dan batubara 30%) dari total konsumsi dan upaya untuk memaksimalkan pemanfaatan energi terbarukan belum dapat berjalan sebagaimana yang direncanakan. Data Asean Center for Energy juga mengungkapkan bahwa energi fosil diperkirakan akan mendominasi permintaan energi di kawasan tersebut mencapai 80% pada 2030 atau di atas realiasi pada 2011 sebesar 76%.

Pemanfaatan energi yang dihasilkan matahari merupakan alternatif penggunaan energi yang tepat karena ketersediaannya yang akan terus tersedia sepanjang waktu. Kondisi topografi dan geografis di Indonesia sangat mendukung dalam upaya pemanfaatan energi matahari sebagai penghasil energi listrik. Selain itu penggunaannya juga tidak berdampak pada peningkatan emisi CO<sub>2</sub>, berbeda halnya dengan penggunaan minyak bumi dan batu bara. Energi listrik yang dihasilkan oleh sel surya tidak mempunyai hasil samping berupa gas-gas berbahaya dan sampah-sampah nuklir (Cahen, 2004). Sel surya merupakan salah satu teknologi yang dapat digunakan untuk mengubah energi yang dihasilkan matahari menjadi energi listrik.

Kendala yang ada saat ini dalam pemanfaatan tenaga matahari yaitu biaya investasi yang dibutuhkan relatif mahal. Hal itu dikarenakan sel surya konvensional yang banyak digunakan saat ini berbasis teknologi silikon, yang merupakan hasil dari pengembangan teknologi semikonduktor elektronik. Selain itu, penggunaan sel surya silikon memiliki dampak yang relatif berbahaya dalam proses fabrikasinya karena menggunakan bahan kimia.

Pengganti dari penggunaan bahan kimia ini yaitu penggunaan bahan organik yang relatif lebih aman. Seiring dengan perkembangan nanoteknologi, sel surya berbahan organik berhasil ditemukan yaitu *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC) oleh Professor Michael Gratzel pada tahun 1991.

Peningkatan efisiensi DSSC terus dikembangkan dan hingga saat ini efisiensi maksimal yang berhasil didapatkan sekitar 11 % (Grätzel, 2003). Parameter penting yang memengaruhi performansi DSSC seperti ketebalan ukuran partikel  $\text{TiO}_2$ . Namun masih sedikit studi yang mempelajari pengaruh ketebalan lapisan  $\text{TiO}_2$  (Yum, 2005). Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dilakukan penelitian untuk merancang DSSC menggunakan teknik pelapisan *ultrasonic atomization*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Secara umum perumusan masalah pada penelitian ini adalah untuk mengetahui metode yang digunakan dalam meningkatkan efisiensi dari DSSC menggunakan teknik pelapisan *ultrasonic atomization*. Adapun permasalahan dalam penelitian ini secara terperinci dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Bagaimana menghasilkan DSSC dengan teknik pelapisan *ultrasonic atomization*.
2. Bagaimana proses pelapisan *dye* ke material.
3. Jenis *natural dye* apa yang menghasilkan daya keluaran paling besar.
4. Bagaimana pengaruh *natural dye* terhadap daya keluaran DSSC.
5. Bagaimana pengaruh LED RGB terhadap DSSC

## 1.3 Tujuan

Secara umum tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk meningkatkan efisiensi dari DSSC menggunakan teknik pelapisan *ultrasonic atomization*. Tujuan dari penelitian ini secara lebih spesifik adalah sebagai berikut:

1. Mengoptimalkan pembuatan solar sel.
2. Mengetahui teknik pelapisan *dye* terhadap daya keluaran solar sel.
3. Meneliti energi terbarukan.



4. Mengetahui pengaruh LED RGB.
5. Membantu kebutuhan energi di Indonesia.

#### **1.4 Manfaat Penelitian**

Dari hasil penelitian ini akan diperoleh manfaat antara lain untuk menghasilkan DSSC yang memiliki tingkat efisiensi yang lebih baik, dan efektivitas yang lebih bagus sehingga dapat digunakan pada penelitian energi terbarukan dan dapat diaplikasikan dalam kehidupan.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB 2**

### **KAJIAN PUSTAKA**

Perancangan *dye-sensitized solar cell* menggunakan teknik pelapisan *ultrasonic atomization*, tidak lepas dari kajian pustaka dan teori dasar. Berikut adalah beberapa kajian pustakan yang berkaitan dengan rancangan penelitian ini.

#### **2.1 Kajian Penelitian Terkait**

##### **2.1.1 *Ultrasonic Atomization* Frekuensi Tinggi dengan Pulsa Eksitasi**

A. Lozano dkk, melakukan penelitian tentang atomisasiultrasonikyang memiliki beberapa karakteristik khusus yang membuatnya menguntungkan atas metode mekanis tradisional lainnya, seperti tekanan atau sistem *gas-assisted*, untuk menghasilkan semprotan tetesan sangat kecil. Secara khusus, distribusi ukuran tetesan yang dihasilkan sangat sempit, dan diameter droplet pada dasarnya dikendalikan hanya dengan frekuensi ultrasonik. Untuk alasan ini, penggunaan perangkat atomisasi ultrasonik menjadi semakin populer untuk sejumlah aplikasi, misalnya dalam *humidifier domestic*, atau *nebulizers* medis. Perkembangan piezoelektrikkeramik dalam dekade terakhir, telah memanfaatkan piezoelektrikkeramik dalam penggunaan sebagai bahan pilihan untuk membuat transduser ultrasonik, karena sifat elektromekanis yang sangat bagus dan biaya rendah.



Gambar 2.1 Proses Atomisasi dari Lempeng Piezokeramik (Lozano, 2003)

### 2.1.2 Fabrikasi DSSC menggunakan Metode Elektro-statis *Atomization*

M. Irwanto dkk, melakukan penelitian *Dye Sensitized Solar Cell*(DSSC) dibuat dengan dimensi 6 x 2 cm dengan ketebalan lapisan  $\text{TiO}_2$  yaitu 40 $\mu\text{m}$ , 80 $\mu\text{m}$  dan 120  $\mu\text{m}$  dan di lapisi di kaca *Inductive Transparent Oxide*(ITO). Penelitian ini bertujuan membandingkan ketebalan lapisan  $\text{TiO}_2$ . Material dari DSSC yang digunakan pada penelitian ini, dapat ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Berdasarkan hasil eksperimen yang telah dilakukan, dapat ditemukan bahwa ketebalan 40 $\mu\text{m}$   $\text{TiO}_2$  menghasilkan  $V_{oc} = 0.21\text{V}$ ,  $I_{sc} = 121.28\mu\text{A}$ , *Fill Factor* (FF) = 1,1845, sedangkan ketebalan 80 $\mu\text{m}$  menghasilkan  $V_{oc} = 0,16\text{V}$ ,  $I_{sc} = 69.89\mu\text{A}$ , *Fill Factor* (FF) = 1,49 dan lapisan  $\text{TiO}_2$  dengan ketebalan 120 $\mu\text{m}$  menghasilkan  $V_{oc} = 0,00063\text{V}$  ,  $I_{sc} = 0\text{mA}$  , *Fill Factor* (FF) = 0. Dari hasil penelitian ini, dapat ditunjukkan bahwa yang terbaik adalah DSSC yang dibuat dengan ketebalan lapisan  $\text{TiO}_2$  yang lebih tipis, yaitu 40 $\mu\text{m}$  dibandingkan dengan ukuran lainnya.

Tabel 2.1 Material DSSC Dye Buah Pucuk Merah

No	Materials	Specification	Function / Usage
1	Titanium Dioxide $\text{TiO}_2$	99.9% trace	As electrode

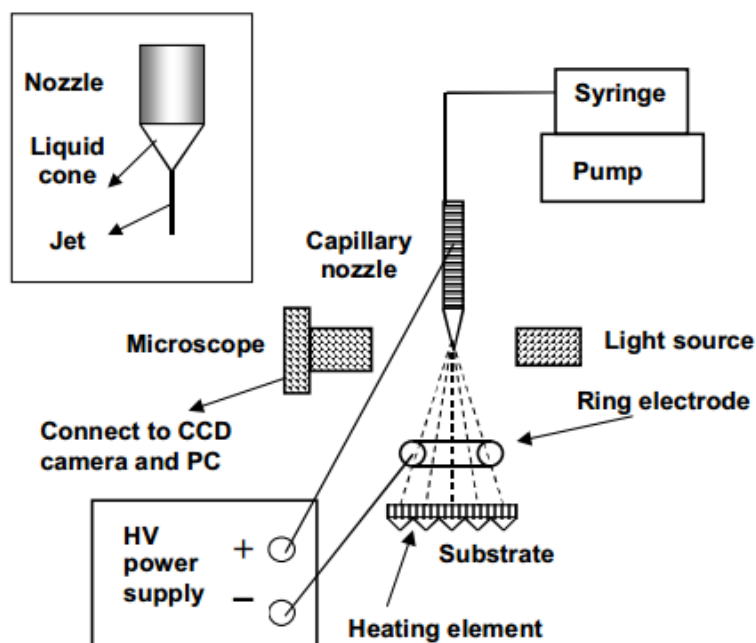
	(IV)	metal basis	
2	Triton® X-100	Organics liquid	To dissolve TiO <sub>2</sub> powder
3	Methoxypropionitrile	> 98.0 % GC	As counter electrolyte
4	Indium tin oxide coated glass slide (ITO)	30 – 60 $\Omega$ /sq surface sensitivity	As electrically conductive glass
5	Syzigium Oleina	Sharped fruit is a small berry fruits that are red to reddish brown	As dye to absorb photon from sunlight

Sumber: Irwanto, 2013

Penelitian ini memakai *dye* organik yaitu buah dari pucuk merah yang akan menyerap warna merah. Metode deposisi TiO<sub>2</sub> masih menggunakan teknik pelapisan *doctor blading* yang kurang maksimal.

### 2.1.3 Fabrikasi DSSC menggunakan Metode Elektro-statis *Atomization*

Fangxiao dkk, melakukan penelitian terhadap DSSC dengan lapisan elektroda Titaniayang disusun oleh metode *cone-jet* elektrostatik. Metode deposisi elektro-statis *atomization* yaitu proses atomisasi dengan menyemprotkan larutan prekursor titanium etoksida ke sebuah substrat silikon, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2. Pengamatan terhadap pengaruh dari penyemprotan larutan terhadap waktu, suhu substrat dan proses penuaan pada morfologi permukaan disiapkan untuk dipelajari. Lapisan tipis yang diperoleh setelah penyemprotan selama 600 detik pada suhu kamar telah membentuk lapisan TiO<sub>2</sub> berpori dengan pori-pori di kisaran ukuran 100-500 nm. Lapisan TiO<sub>2</sub> tebal dibentuk dengan penyemprotan selama 3000 detik, tetapi lapisan ini retak pada proses pengeringan, meskipun dapat disimpulkan bahwa film dibuat dengan menggunakan substrat yang lebih padat dan suhu yang lebih tinggi.



Gambar 2.2 Metode deposisi elektro-statis *atomization*. (Fangxiao, 2013)

Metode yang digunakan pada penelitian ini menghasilkan lapisan  $\text{TiO}_2$  yang disusun atas kaca konduktif ITO dengan pelapisan substrat menggunakan titania, suspensi dengan distribusi ukuran partikel yang berbeda. Hasil penelitian menunjukkan bahwa produksi industri dari DSSC dengan teknik *electrospraying* memiliki potensi yang baik.

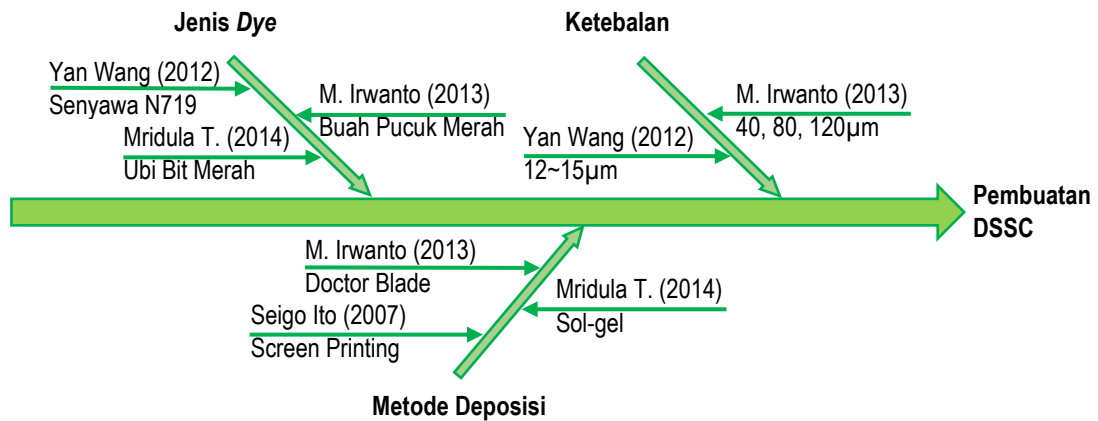
#### 2.1.4 Diagram *Fishbone*

Pada penelitian ini dibuat diagram *fishbone* untuk menggambarkan sebab-sebab dari suatu masalah, kemudian menganalisis masalah tersebut dan menggambarkannya ke dalam sebuah bagan.

Diagram kerangka dari penelitian tentang *dye-sensitized solar cell* dan teknik pelapisan yang digunakan, dapat ditunjukkan oleh gambar diagram *fishbone* seperti yang terlihat pada Gambar 2.3.

Bagian-bagian *fishbone* pada penelitian ini terdiri dari tiga bagian yang mendukung sebagai proses pembuatan *dye-sensitized solar cell*, yaitu jenis *dye*, metode deposisi, dan ketebalan lapisan yang digunakan. Dari setiap bagian terdiri dari sub bagian pendukung atau *paper* penunjang yang digunakan pada penelitian ini.

*Paper* tersebut dikaji, sehingga diperoleh suatu permasalahan yang akan dilakukan pada penelitian.



Gambar 2.3 Diagram *fishbone*.

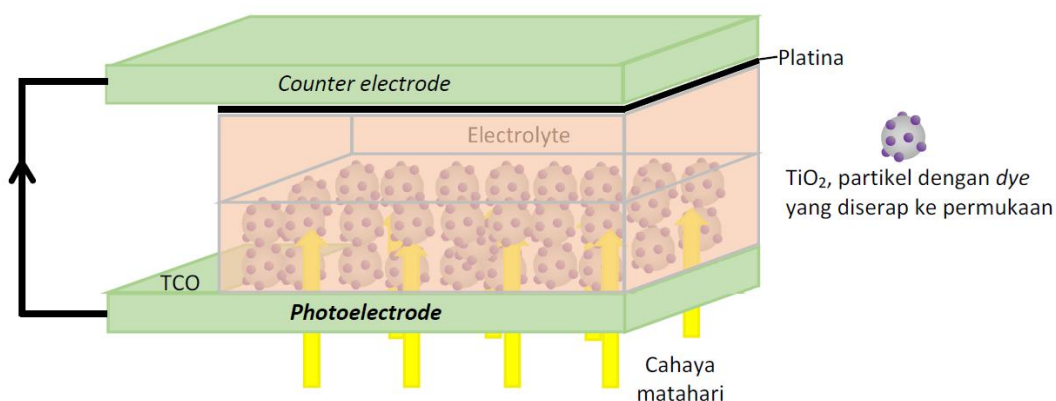
## 2.2 Teori Dasar

### 2.2.1 *Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC)*

Sejak adanya laporan publikasi tentang sel surya berbasis *dye* tersensitisasi (*Dye Sensitized Solar Cell, DSSC*) pada tahun 1991 oleh O'Regan and Gratzel, DSSC telah menjadi penelitian sel surya yang sangat menarik para peneliti dan ilmuwan di dunia bahkan di Indonesia karena teknologi fabrikasi yang sederhana, biaya produksi yang lebih murah dan ramah lingkungan, efisiensi konversi energi sebesar 10 sampai 11% telah dicapai.

Secara umum DSSC dibentuk melalui mekanisme *photoelectrochemical*, dimana penyerapan cahaya matahari melalui pewarna tersensitisasi (*dye-sensitized*) seperti halnya klorofil pada proses fotosintesis daun. Proses pembangkitan dan transfer elektron terjadi melalui bahan semikonduktor yang memiliki pita energi yang lebar, umumnya  $\text{TiO}_2$  digunakan sebagai fotoelektroda. Larutan elektrolit pasangan redoks  $\text{I}^-/\text{I}_3^-$  sebagai media transpor muatan dan elektroda lawan (*counter electrode*) yang diberi lapisan katalis (biasanya menggunakan platina). Struktur standar DSSC menggunakan dua

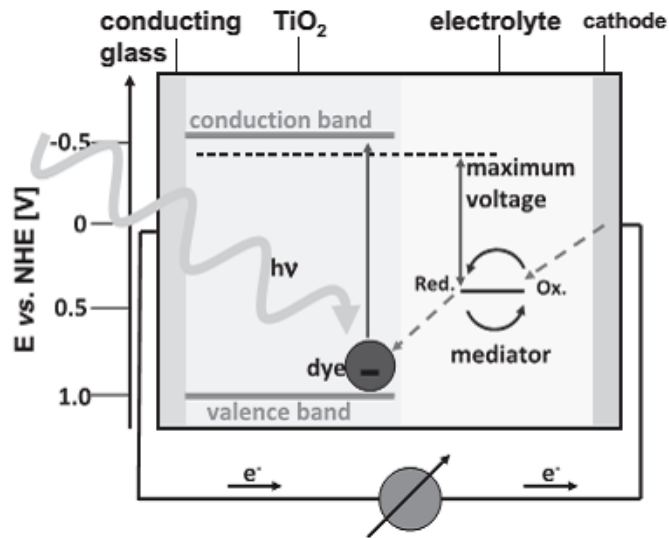
kaca TCO sebagai substrat tempat pembentukan *photoelectrode* dan *counter electrode*, dapat dilihat dalam Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Struktur Standar DSSC.

Prinsip kerja dari DSSC sendiri disajikan dalam Gambar 2.4. Material semikonduktor ini ditempatkan pada plat transparan berkonduktifitas membentuk lapisan tipis. Kemudian lapisan monolayer *dye* ditempatkan pada permukaan lapisan nanokristalin semikonduktor. Fotoeksitasi yang dialami oleh *dye* menghasilkan elektron tereksitasi dari pita valensi ke pita konduksi *dye* yang kemudian masuk ke pita konduksi dari logam oksida, injeksi elektron ini melalui hubungan antara titanium dengan gugus karboksil pada zat warna. Proses ini menghasilkan *dye* yang bermuatan positif dan partikel TiO<sub>2</sub> yang bermuatan negatif. Elektron tersebut selanjutnya keluar melalui sirkuit eksternal menuju *counter electrode*, aliran elektron ini dimanfaatkan sebagai energi listrik. Kekosongan elektron pada pita valensi *dye* digantikan oleh elektron yang berasal dari elektrolit, elektrolit yang digunakan pada DSSC biasanya adalah pelarut organik yang mengandung sistem redoks, contohnya adalah pasangan iodida-triiodida. Regenerasi sensitiser oleh iodida terjadi dengan proses pendonoran elektron pada pita valensi dari *dye* yang teroksidasi. Iodida diregenerasi kembali dengan reduksi triiodida pada *counter electrode*, dengan memanfaatkan elektron yang berasal dari eksternal sirkuit, proses ini berlangsung terus-menerus sebagai suatu siklus sehingga dihasilkan arus yang kontinyu.





Gambar 2.5 Prinsip Kerja Dan Level Energi DSSC.

### 2.2.2 Karakteristik Sel Surya

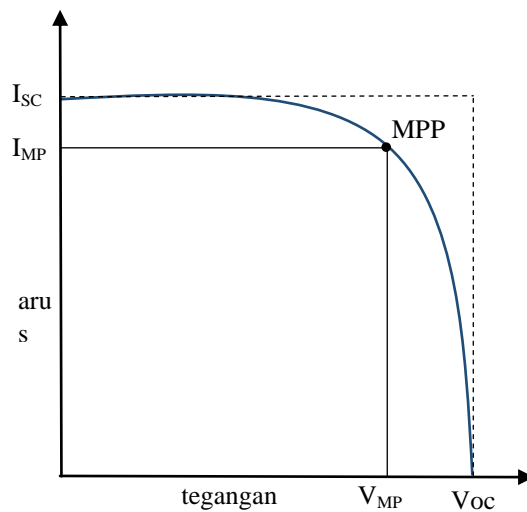
Daya listrik yang dihasilkan sel surya ketika mendapat cahaya diperoleh dari kemampuan perangkat sel surya tersebut untuk memproduksi tegangan ketika diberi beban dan arus melalui beban pada waktu yang sama. Kemampuan ini direpresentasikan dalam kurva arus tegangan (I-V) dalam Gambar 2.6.

Ketika sel dalam kondisi *short-circuit*, arus maksimum atau arus *short-circuit* ( $I_{sc}$ ) dihasilkan, sedangkan pada kondisi *open-circuit* tidak ada arus yang dapat mengalir sehingga tegangannya maksimum, disebut tegangan *open-circuit*. ( $V_{oc}$ ). Titik pada kurva I-V yang menghasilkan arus dan tegangan maksimum disebut *maximum powerpoint* atau titik daya maksimum (MPP). Karakteristik penting lainnya dari sel surya yaitu *fill factor* (FF), sesuai dengan Persamaan 2.1,

$$FF = \frac{V_{mp} \times I_{mp}}{V_{oc} \times I_{sc}} \quad (2.1)$$

dimana  $V_{MP}$  adalah tegangan titik daya maksimum dan  $I_{MP}$  adalah arus titik daya maksimum. Berdasarkan Persamaan 2.1, nilai daya maksimum dari DSSC dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.2,

$$P_{max} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF \quad (2.2)$$



Gambar 2.6 Karakteristik Kurva I-V pada Sel Surya.

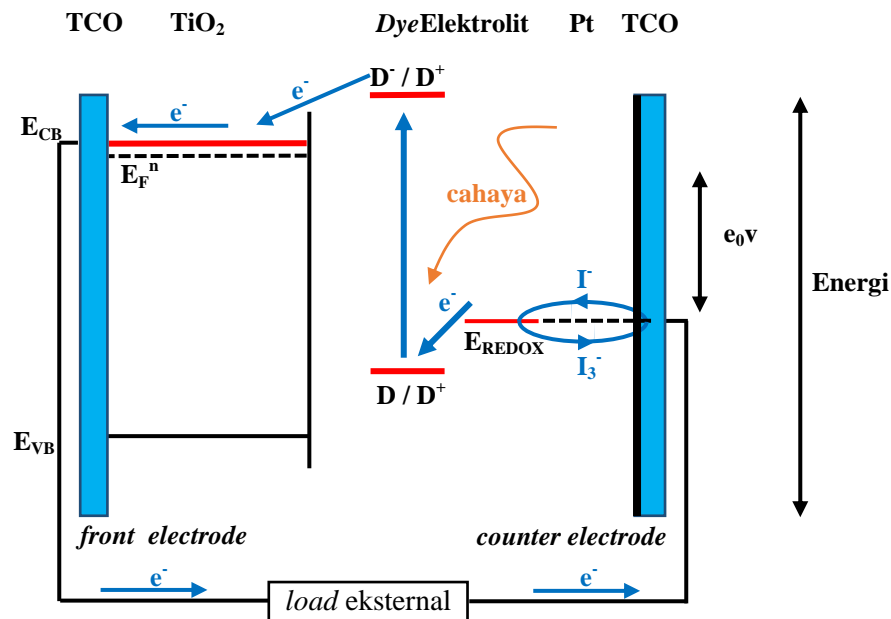
### 2.2.3 Prinsip Kerja DSSC

Pada dasarnya prinsip kerja dari DSSC merupakan reaksi dari transfer elektron. Skema prinsip kerja dari DSSC ditunjukkan pada Gambar 2.7. Proses pertama dimulai dengan terjadinya eksitasi elektron pada molekul *dye* akibat absorpsi foton. Elektron tereksitasi dari *ground state* (D) ke *excited state* (D<sup>\*</sup>), seperti yang ditunjukkan pada Persamaan 2.3,



Elektron dari *excited state* kemudian langsung terinjeksi menuju *conduction band* ( $E_{CB}$ ) titania sehingga molekul *dye* teroksidasi (D<sup>+</sup>). Dengan adanya donor elektron oleh elektrolit (I<sup>-</sup>) maka molekul *dye* kembali ke keadaan awalnya (*ground state*) dan mencegah penangkapan kembali elektron oleh *dye* yang teroksidasi seperti yang ditunjukkan pada Persamaan 2.4,





Gambar 2.7 Skema Kerja DSSC.

Setelah mencapai elektroda TCO, elektron mengalir menuju *counter-electrode* melalui rangkaian eksternal. Dengan adanya katalis pada *counter-electrode*, elektron diterima oleh elektrolit sehingga *hole* yang terbentuk pada elektrolit ( $I_3^-$ ), akibat donor elektron pada proses sebelumnya, berekombinasi dengan elektron membentuk iodide ( $I^-$ ), seperti yang ditunjukkan pada Persamaan 2.5,



Iodide ini digunakan untuk mendonor elektron kepada *dye* yang teroksidasi, sehingga terbentuk suatu siklus transpor elektron. Dengan siklus ini, terjadi konversi langsung dari cahaya matahari menjadi listrik. (Wilman dkk, 2007)

## 2.2.4 Material Penyusun DSSC

Dye-sensitized Solar Cell (DSSC) tersusun dari berbagai macam material penyusun, yaitu: substrat, nanopartikel  $TiO_2$ , *dye*, *iodine*, *counter-electrode*.

### 2.2.4.1 Substrat

Substrat adalah badan dari sel surya dan sebagai media mengalirnya muatan. Substrat yang digunakan pada DSSC yaitu TCO (*Transparent Conductive*

Oxide) jenis *Flourine-doped Tin Oxide*(FTO).TCO merupakan sebuah kaca transparan yang memiliki lapisan konduktif yang berfungsi sebagai mengalirnya muatan pada DSSC.Material yang umumnya digunakan yaitu *flourine-doped tin oxide* ( $\text{SnO}_2:\text{F}$  atau FTO) dan *indium tin oxide* ( $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Sn}$  atau ITO) hal ini karena dalam proses pelapisan material  $\text{TiO}_2$  kepada substrat, diperlukan proses *firing* pada temperatur  $400\text{-}500^\circ\text{C}$  dan kedua material tersebut merupakan pilihan yang cocok karena tidak mengalami defect pada range temperatur tersebut (Wilman et al., 2007 : 14).

#### 2.2.4.2 Nanopartikel $\text{TiO}_2$ (*Titanium(IV) oxide*)

Dalam DSSC dibutuhkan semikonduktor yang memiliki lebar pita energi yang besar ( $>3\text{eV}$ ) untuk transparenensi semikonduktor pada sebagian besar spektrum cahaya matahari. Maka dalam penelitian ini digunakan jenis semikonduktor  $\text{TiO}_2$  (*Titanium (IV) Oxide*), jenis ini yang paling sering digunakan karena efisiensi DSSC menggunakan  $\text{TiO}_2$  masih belum tertandingi. Jenis semikonduktor lain yang dapat digunakan yaitu ZnO (Uthirakumar,2011).

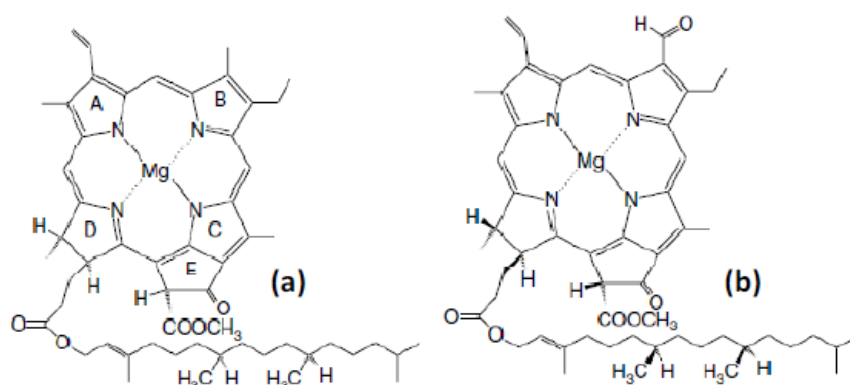
Di alam, umumnya  $\text{TiO}_2$  mempunyai tiga fasa yaitu *rutile*, *anatase*, dan *brookite* seperti ditunjukkan struktur kristalnya. Fasa *rutile* dari  $\text{TiO}_2$  adalah fasa yang umum dan merupakan fasa yang disintesis dari mineral *ilmenite* melalui proses *Becher*. Pada proses *Becher*, oksida besi yang terkandung dalam *ilmenite* dipisahkan dengan temperatur tinggi dan juga dengan bantuan gas sulfat atau klor sehingga menghasilkan  $\text{TiO}_2$  *rutile* dengan kemurnian 91-93%. Titania pada fasa *anatase* umumnya stabil pada ukuran partikel kurang dari 11 nm, fasa *brookite* pada ukuran partikel 11 – 35 nm, dan fasa *rutile* diatas 35 nm.

#### 2.2.4.3 Dye

*Dye* dalam DSSC berfungsi sebagai penyerap foton dalam cahaya matahari dan kemudian mengubah menjadi energi. *Dye* yang umum digunakan adalah jenis *Ruthenium (Ru) Complex*, karena *dye* jenis itu jika diaplikasikan

terhadap *DSSC* akan menghasilkan nilai efisiensi yang tinggi sebesar 10%. Namun *dye* jenis *Ruthenium (Ru) Complex* komersil berharga sangat mahal.

*Dye* yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan klorofil yang terdapat pada daun pucuk merah karena jenis daun tersebut memiliki kandungan klorofil yang cukup besar. *Dye* didapat dengan cara mengekstrak klorofil dari daun dengan cara ditumbuk kemudian direndam dalam larutan pelarut yaitu lautan ethanol.



Gambar 2.8 Struktur Kimia (a) Klorofil a dan (b) Klorofil b. (Sholeh, 2013)

#### 2.2.4.4 Iodine

*Iodine* dalam *DSSC* berperan sebagai transpor muatan dari counter-elektroda ke *dye*. Dalam penelitian ini digunakan elektrolit dihasilkan dari iodine ( $I^-$ ) dan triiodide ( $I_3^-$ ) sebagai pasangan redoks dalam pelarut. Karakteristik ideal dari pasangan redoks untuk elektrolit *DSSC* adalah sebagai berikut.

1. Potensial redoksnya secara termodinamika berlangsung sesuai dengan potensial redoks dari *dye* untuk tegangan sel yang maksimal.
2. Tingginya kelarutan terhadap pelarut untuk mendukung konsentrasi yang tinggi dari muatan pada iodine.
3. Pelarut mempunyai koefisien difusi yang tinggi untuk transportasi massa yang efisien.
4. Tidak adanya karakteristik spektral pada daerah cahaya tampak untuk menghindari absorpsi cahaya datang pada iodine.
5. Kestabilan yang tinggi baik dalam bentuk tereduksi maupun teroksidasi.
6. Mempunyai reversibilitas tinggi.

7. Inert terhadap komponen lain pada DSSC.

#### **2.2.4.5 Counter-Electrode**

*Counter-Electrode* pada DSSC berfungsi sebagai katalis. Katalis dibutuhkan untuk mempercepat kinetika reaksi proses reduksi triiodide pada TCO. Platina, material yang umum digunakan sebagai katalis pada berbagai aplikasi, juga sangat efisien dalam aplikasinya pada DSSC. Platina dideposisikan pada TCO dengan berbagai metoda yaitu elektrokimia, *sputtering*, *spin coating*, atau *pyrolysis*.

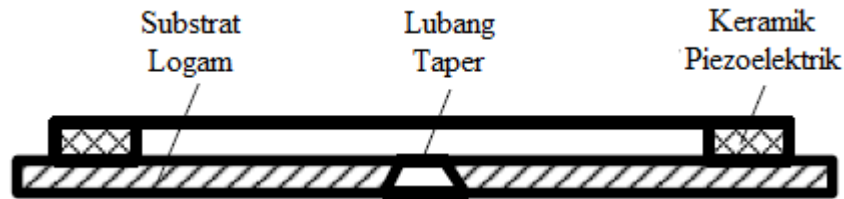
Walaupun mempunyai kemampuan katalitik yang tinggi, platina merupakan material yang mahal. Sebagai alternatif, Kay & Gratzel (1996) mengembangkan desain DSSC dengan menggunakan counter-elektroda karbon sebagai lapisan katalis (Gratzel, 1996). Karena luas permukaannya yang tinggi, *counter-electrode* karbon mempunyai keaktifan reduksi triiodide yang menyerupai elektroda platina.

#### **2.2.5 Teknik Pelapisan Ultrasonik Atomisasi**

Ultrasonic atomizer bermula dari ultrasonic nozzle yang Dr. Harvey L. Berger mengomersilkannya. Ultrasonic nozzle adalah tipe pipa semprot yang menggunakan fibrasi frekuensi tinggi yang diproduksi oleh transduser piezoelektrik yang bekerja pada ujung nozzle yang akan menciptakan gelombang kapiler dalam film cair. Begitu amplitudo dari gelombang kapiler mencapai ketinggian kritis (karena tingkat daya yang di-supply oleh generator), gelombang kapiler menjadi terlalu tinggi untuk menopang dan terbentuk tetesan kecil jatuh dari ujung setiap gelombang yang menghasilkan atomisasi.

Ultrasonic atomizer banyak diaplikasikan kedirgantaraan, medis dan kesehatan, perlindungan lingkungan hijau, keselamatan dan penghematan energi. Pada penelitian ini teknik pelapisan yang digunakan adalah ultrasonic atomizer. Ultrasonic atomizer digunakan untuk melapisi dye ke  $\text{TiO}_2$  yang sudah kering di TCO. Struktur ultrasonic atomizer yang digerakkan piezoelektrik

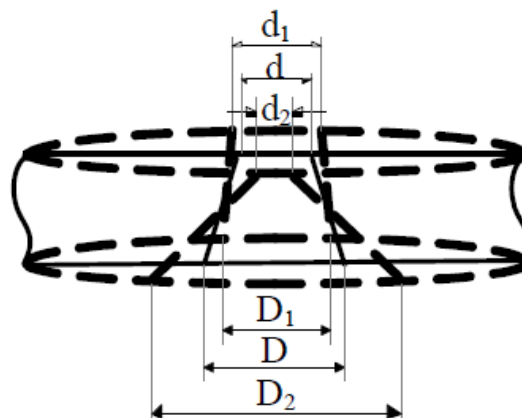
ditunjukkan dalam Gambar 2.9. Terdiri dari substrat logam bundar dan satu buah keramik piezoelektrik melingkar. Substrat logam diproses dengan taper lubang.



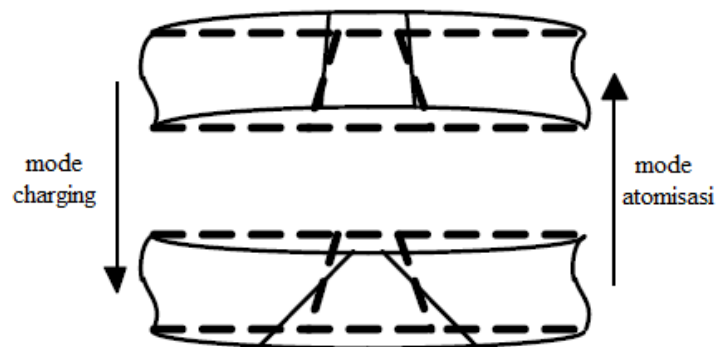
Gambar 2.9 Struktur Piezoelektrik Yang Menggerakan Ultrasonic Atomizer

Saat logam substrat membengkok, lubang taper juga akan berubah, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.10.  $d$ ,  $D$ ,  $V$  mewakili diameter atas dan diameter bawah serta volume lubang taper ketika logam substrat berada dalam posisi ekuilibrium.  $d_1$ ,  $D_1$ ,  $V_1$  mewakili diameter atas dan diameter bawah serta volume lubang taper ketika logam substrat melengkung ke atas.  $d_2$ ,  $D_2$ ,  $V_2$  mewakili diameter atas dan diameter bawah serta volume lubang taper ketika logam substrat membungkuk ke bawah.

Ketika substrat logam melengkung ke bawah, volume lubang taper menjadi lebih besar. Lubang taper bersentuhan dengan permukaan air hingga penuh dengan air. Hal ini disebut "mode charging". Ketika substrat logam melengkung ke atas, volume lubang lancip semakin kecil. Tekanan di lubang lancip meningkat karena histeresis. Tekanan menyebabkan air keluar dari lubang taper. Hal ini disebut "mode atomisasi" yang ditunjukkan dalam Gambar 2.11.



Gambar 2.10 Perubahan Bentuk Dari Lubang Taper



Gambar 2.11 Prinsip Kerja Piezoelektrik Dalam Mode Charging Dan Atomisasi

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



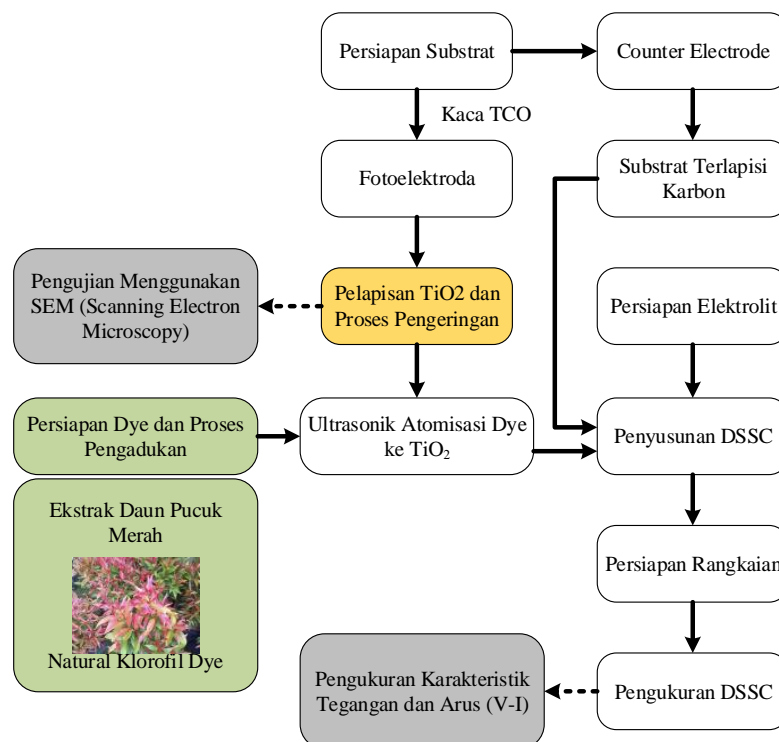
## BAB 3

### METODOLOGI PENELITIAN

Penyusunan proposal ini didasarkan pada masalah yang bersifat aplikatif, yaitu perencanaan dan perealisasiian penelitian agar dapat bekerja sesuai dengan yang direncanakan dengan mengacu pada rumusan masalah. Langkah-langkah yang perlu dilakukan untuk merealisasikan penelitian yang dirancang adalah bagaimana perancangan *dye-sensitized solar cell* (DSSC), cara perolehan data atau pengukuran, model analisis dan pengambilan kesimpulan.

#### 3.1 Fabrikasi dan Pengukuran DSSC

Dalam penelitian ini akan dibuat 3 buah solar sel organik atau *dye-sensitized solar cell* (DSSC) 2 tanpa terlapisi dye dan 1 terlapisi dye. Variasi ketebelan berdasarkan jumlah lapis lapisan masker. Tiga buah DSSC tersebut mendapat pelakuan sama dalam hal metode dan langkah-langkah pembuatannya. Berikut adalah diagram alir fabrikasi dan pengukuran DSSC ditunjukkan dalam Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Fabrikasi dan Pengukuran DSSC.

Pada proses pembuatan DSSC, langkah pertama adalah mempersiapkan material yang akan digunakan. Alat-alat yang akan digunakan dicuci dulu dengan menggunakan aquades untuk menghilangkan materi pengotor. Untuk pembuatan *dye* digunakan prinsip ekstraksi klorofil dari daun. Daun terlebih dulu ditimbang 30 gram untuk perbandingan jumlah daun dibanding pelarut adalah 30 gram : 50 ml.

Pada pembuatan pasta  $\text{TiO}_2$ , *Polyvinyl Alcohol* (PVA) 1.5 gram ditambahkan pada 13.5 ml aquades, selanjutnya campuran diaduk dengan *magnetic stirrer* pada temperatur  $40^\circ\text{C}$  selama kurang lebih 30 menit hingga larutan mengental dan homogen. PVA berfungsi sebagai pengikat dalam pembuatan pasta  $\text{TiO}_2$ . Bubuk  $\text{TiO}_2$  ditimbang 0.5 gram, kemudian suspensi yang telah dibuat ditambahkan pada bubuk  $\text{TiO}_2$  perlahan lahan hingga didapatkan pasta dengan viskositas yang diinginkan.

Setelah didapatkan pasta  $\text{TiO}_2$  yang diinginkan, selanjutnya pasta dilapiskan diatas kaca TCO pada lapisan konduktifnya dengan menggunakan metode *ultrasonic atomization*. Variasi ketebalan kaca terbagi 3 yaitu: 1 lapis, dua lapis dan 3 lapis lapisan masker. Kaca TCO yang sudah dilapisi pasta kemudian di-*firing* pada suhu  $450^\circ\text{C}$  selama 30 menit agar pasta melekat sempurna pada kaca. Kemudian kaca TCO direndam dalam *dye* selama 30 menit.

Pembuatan counter-elektroda dilakukan dengan cara memanaskan sisi konduktif kaca TCO pada nyala api lilin selama kurang lebih 1 menit sampai karbon dengan rata menutupi sisi konduktif kaca TCO. Karbon yang menempel pada kaca TCO ditentukan dimensinya sesuai dengan dimensi kaca TCO yang dilapisi pasta  $\text{TiO}_2$  yaitu  $2 \times 2 \text{ cm}^2$ .

### **3.2 Perlakuan Sampel dan Variabel *Input***

Pada perakitan DSSC, kaca TCO yang telah direndam dengan *dye* kemudian ditetesi dengan larutan elektrolit. Larutan elektrolit digunakan sebagai transpor elektron dari karbon ke *dye*. Kemudian dengan segera tempelkan kaca

TCO *counter-electrode* dengan struktur berlapis, jepit dengan klip agar penempelan lebih rapat. Maka proses pembuatan *DSSC* selesai.

Data didapat dengan cara melakukan fabrikasi *DSSC*. Metode fabrikasi dan perlakuan sampel yang dilakukan yaitu :

- Pelapisan pasta  $\text{TiO}_2$  dilakukan dengan menggunakan metode *ultrasonic atomization*.
- Proses pengeringan dan perekatan pasta  $\text{TiO}_2$  dilakukan dengan cara dipanaskan dalam *furnace* dengan waktu yang sama (30 menit).
- Pembuatan pasta  $\text{TiO}_2$  dilakukan dengan cara yang sama untuk mendapatkan tingkat kekentalan pasta  $\text{TiO}_2$ .
- Karbon *counter-electrode* dibuat dengan ketebalan yang sama. Pemanasan dilakukan menggunakan lilin lebih kurang 1 menit.
- Lama waktu perendaman dalam *dye* dibuat dalam waktu yang sama (30 menit).
- Zat elektrolit dibuat sama baik konsentrasi maupun jumlah volum yang diteteskan pada  $\text{TiO}_2$  yang sudah direndam *dye* (0,25 ml).

Variabel *input* yang diperhatikan dalam penelitian ini adalah :

- Variasi lapisan masker
- Variasi *dye*
- Variasi *lux* lampu pijar

### 3.3 Variabel *Output* dan Pengukuran

Penelitian yang dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi ketebalan  $\text{TiO}_2$  terhadap daya keluaran *DSSC*. Variabel *output* yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Tegangan keluaran *DSSC* ( $V_{OC}$ )
2. Arus keluaran *DSSC* ( $I_{SC}$ )
3. *Fill Factor* (FF)
4. Daya keluaran ( $P_{max}$ )

Untuk menganalisis kinerja alat apakah sesuai dengan yang direncanakan maka dilakukan pengujian sistem. Pengujian dilakukan dengan cara antara lain:

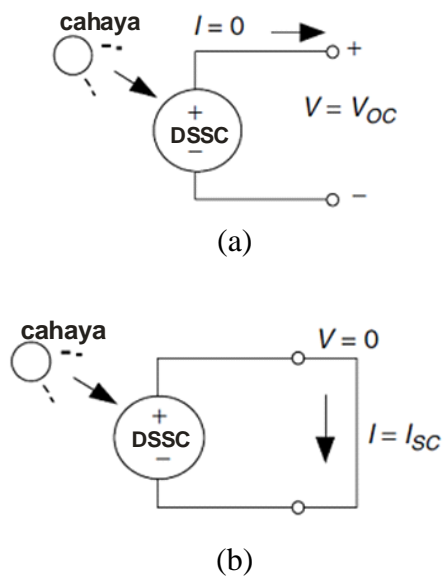
1. Pengukuran ketebalan  $\text{TiO}_2$ .
2. Pengukuran tegangan luaran *DSSC* ( $V_{oc}$ ).
3. Pengukuran arus luaran *DSSC* ( $I_{sc}$ ).
4. Analisis performansi *DSSC* dengan menggunakan data  $V_{oc}$  dan  $I_{sc}$ .

Pengujian absorpsi klorofil menggunakan *Spectrophotometer UV-Vis*. Pengukuran ketebalan  $\text{TiO}_2$  menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) Phanom G2 Pro. Pengujian dan pengukuran sel ( $V_{oc}$  dan  $I_{sc}$ ) dilakukan dengan menggunakan lampu pijar dengan pencahayaan sebesar 40.400 lux. Pengujian dilakukan dengan cara mengukur tegangan hubung terbuka ( $V_{oc}$ ) dan arus hubung singkat ( $I_{sc}$ ) menggunakan rangkaian uji. Rangkaian uji untuk pengukuran sel ditunjukkan dalam Gambar 3.2. Kemudian dari data tersebut dapat dilakukan analisis pengaruh ultrasonik atomisasi untuk menghasilkan daya keluar *DSSC* paling baik.

### **3.4. Pembuatan Larutan Elektrolit**

Larutan elektrolit yang digunakan dalam pembuatan *DSSC* adalah larutan iodide/triiodide dengan prosedur sebagai berikut :

1. Campurkan 0,83 gram (0,5 M) KI (Potassium iodide) ke dalam 1 ml aquades kemudian ditambahkan 9 ml acetonitrile.



Gambar 3.2 Rangkaian Pengujian (a) Pengukuran  $V_{oc}$  dan (b) Pengukuran  $I_{sc}$

2. Tambahkan 0,127 gram (0,05 M)  $I_2$  (Iodide) ke dalam larutan tersebut kemudian diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer*.
3. Simpan larutan dalam botol gelap dan dibungkus dengan menggunakan aluminium foil.

### 3.5. Pembuatan Larutan Dye

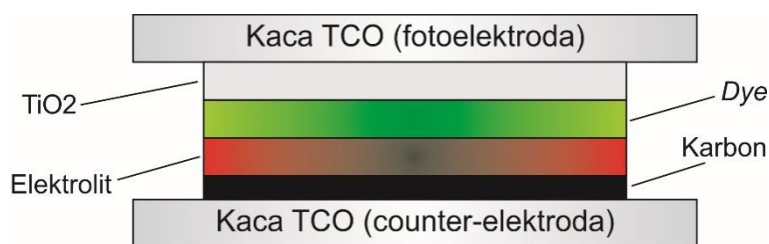
Pembuatan larutan *dye* menggunakan prinsip ekstraksi klorofil dari klorofil daun. Berikut langkah-langkah ekstraksi klorofil:

1. Disiapkan 60 gram daun, 150 ml ethanol 98%, aquades dan alat-alat yang akan digunakan.
2. Daun ditimbang dengan berat 30 gram.
3. Daun dicuci dengan aquades, kemudian dikeringkan.
4. Setelah bersih, daun ditumbuk pada cawan porselin hingga halus.
5. Daun yang telah halus dimasukkan ke dalam pelarut 50 ml ethanol 98%.
6. Daun yang telah tercampur dengan ethanol diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 30 menit pada kecepatan 500 RPM penuh sehingga menghasilkan ekstrak klorofil.
7. Ekstrak klorofil dimasukkan ke dalam wadah gelap dan didiamkan selama 24 jam untuk memaksimalkan proses ekstraksi.

8. Setelah itu ekstrak tersebut disaring dengan kertas saring sehingga zat klorofil terpisah sepenuhnya dengan fisik daun, kemudian ditampung pada botol gelap yang telah dibungkus dengan aluminium foil.

### 3.6 Perancangan DSSC

Perancangan DSSC pada penelitian ini menggunakan struktur berlapis, yaitu dengan cara menggabungkan dua kaca TCO dengan lapisan yang berbeda. Kaca TCO pertama (fotoelektroda), yaitu terdiri dari lapisan pasta  $\text{TiO}_2$  yang telah dilapisi dye menggunakan ultrasonic atomisasi dengan larutan klorofil dan diberi larutan elektrolit, sedangkan kaca kedua terdiri dari lapisan karbon sebagai elektroda lawan (*counter-electrode*). Struktur berlapis DSSC secara ilustrasi ditunjukkan dalam Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Perancangan DSSC



## **BAB 4**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Hasil dan pembahasan yang dimaksudkan adalah tahapan-tahapan yang dilakukan dalam merancang dan proses pembuatan alat. Perancangan DSSC dilakukan dengan menggunakan struktur berlapis antar komponen-komponen penyusun DSSC. Komponen-komponen penyusun yang dimaksud antara lain substrat, pasta  $\text{TiO}_2$ , dye, elektrolit dan karbon. Sedangkan langkah-langkah penyusunannya yaitu pelapisan pasta  $\text{TiO}_2$  pada substrat, pengeringan pasta, pelapisan menggunakan ultrasonic atomizer larutan *dye* ke  $\text{TiO}_2$  yang sudah kering, pemberian elektrolit, dan yang terakhir adalah penyatuan substrat tersebut dengan substrat lainnya yang telah terlapisi karbon.

#### **4.1 Persiapan Alat dan Bahan**

Dalam perancangan atau pembuatan *Dye-Sensitized Solar Cell* ini diperlukan bahan-bahan sebagai berikut :

1. 30 gram daun pucuk merah
2. 50 ml ethanol dengan konsentrasi 98%
3. Aquades
4. PVA (*Polyvinyl Alcohol*)
5. Potassium iodide (KI)
6. Iodine ( $\text{I}_2$ )
7. Acetonitrile

Sedangkan beberapa alat yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Gelas beaker
2. Tabung ukur
3. Pipet
4. Kaca konduktif (TCO) jenis FTO (flourine-doped tin oxide) dengan resistivitas permukaan sebesar  $15\text{-}25 \Omega/\text{sq}$  dari SIGMA-Aldrich
5. Pengaduk magnetik (magnetic stirrer) dari WINA *Instruments*



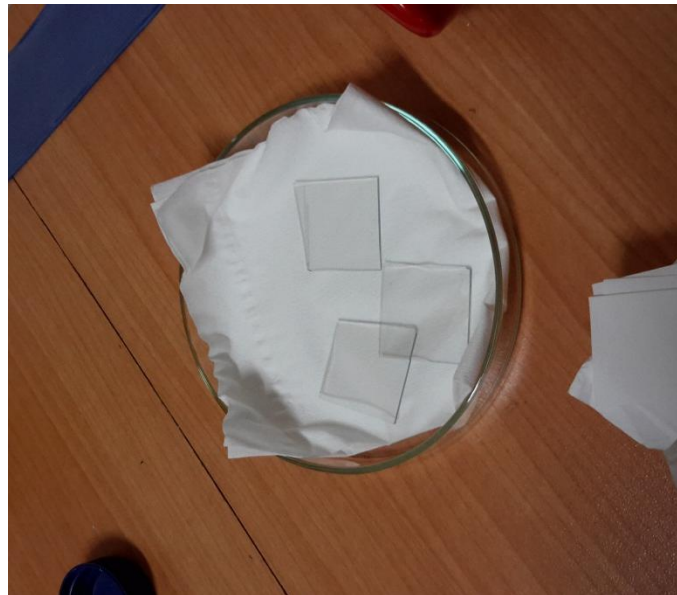
6. Mortar
7. Cawan petri
8. *Oven*
9. *Scotch Tape*
10. Multimeter digital tipe Sanwa CD800A
11. Multimeter analog ABB MA3E

## 4.2 Persiapan Material

### 4.2.1 Persiapan Kaca TCO

Kaca TCO dipotong dengan ukuran  $2 \times 2 \text{ cm}^2$  menggunakan *glass cutter*. Kaca kemudian ditempatkan di dalam wadah bersih dan direndam dalam ethanol selama 10 menit agar steril dan menghilangkan materi pengotor agar tidak ada penambahan nilai hambatan pada kaca TCO.

Setelah pembersihan selesai substrat dikeluarkan dari wadah dan dibiarkan terlebih dahulu hingga ethanol yang menempel pada kaca menguap. Kaca TCO yang telah siap digunakan ditunjukkan dalam Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Kaca TCO yang Siap Digunakan dengan Dimensi  $2 \times 2 \text{ cm}^2$

#### 4.2.2 Pembuatan Larutan Elektrolit

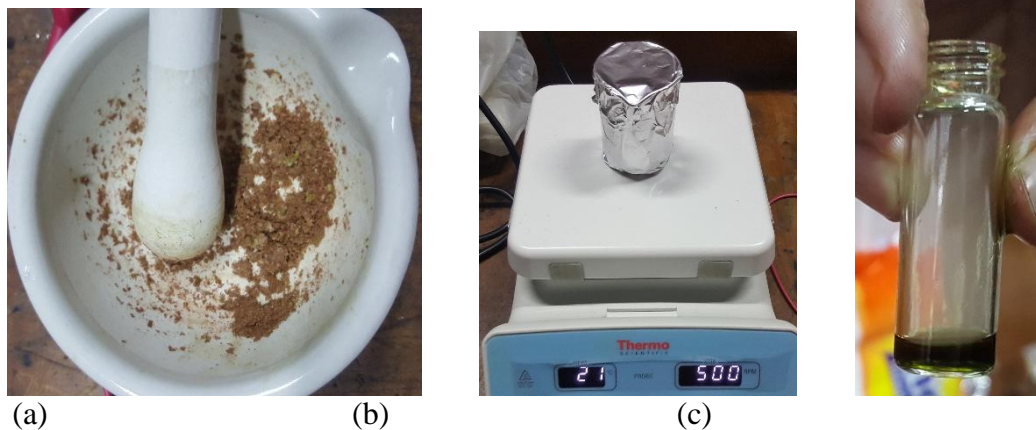
Larutan elektrolit yang digunakan dalam pembuatan DSSC adalah larutan iodide/triiodide dengan prosedur sebagai berikut :

1. Campurkan 0,83 gram (0,5 M) KI (Potassium iodide) ke dalam 1 ml aquades kemudian ditambahkan 9 ml acetonitrile.
2. Tambahkan 0,127 gram (0,05 M) I<sub>2</sub> (Iodide) ke dalam larutan tersebut kemudian diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer*.
3. Simpan larutan dalam botol gelap dan dibungkus dengan menggunakan aluminium foil.

#### 4.2.3 Pembuatan Larutan Dye

Pembuatan larutan *dye* menggunakan prinsip ekstraksi klorofil dari klorofil daun pucuk merah. Berikut langkah-langkah ekstraksi klorofil:

1. Disiapkan 60 gram daun pucuk merah, 150 ml ethanol 98%, aquades dan alat-alat yang akan digunakan.
2. Daun pucuk merah ditimbang dengan berat 30 gram.
3. Daun pucuk merah dicuci dengan aquades, kemudian dikeringkan.
4. Setelah bersih, daun pucuk merah ditumbuk pada cawan porselin hingga halus.
5. Daun pucuk merah yang telah halus dimasukkan ke dalam pelarut 50 ml ethanol 98%.
6. Daun pucuk merah yang telah tercampur dengan ethanol diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 30 menit pada kecepatan 500 RPM sehingga menghasilkan ekstrak klorofil.
7. Ekstrak klorofil dimasukkan ke dalam wadah gelap dan didiamkan selama 24 jam untuk memaksimalkan proses ekstraksi.
8. Setelah itu ekstrak tersebut disaring dengan kertas saring sehingga zat klorofil terpisah sepenuhnya dengan fisik daun, kemudian ditampung pada botol gelap yang telah dibungkus dengan aluminium foil.



Gambar 4.2(a) Daun Pucuk merah yang Telah Dihaluskan (b) Proses Homogenisasi Klorofil Dengan Pelarut (c) *Dye* siap dilapiskan

Daun pucuk merah yang telah dihaluskan dan siap dicampur dengan pelarut, proses homogenisasi klorofil dengan pelarut, dan proses penyaringan larutan *dye* ditunjukkan dalam Gambar 4.2a, Gambar 4.2b dan Gambar 4.2c.

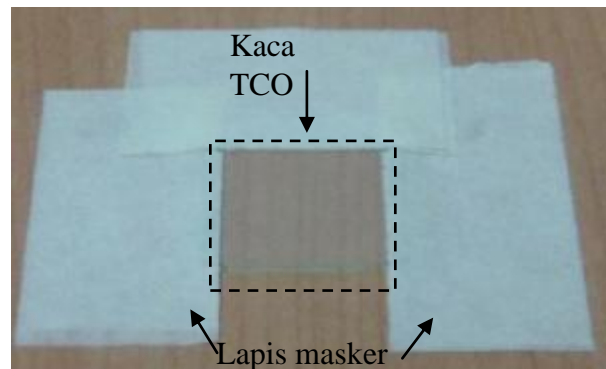
#### 4.2.4 Pembuatan Pasta $\text{TiO}_2$

Agar dapat dideposisikan pada kaca TCO dengan baik,  $\text{TiO}_2$  harus dibuat dalam bentuk pasta. Prosedur pembuatannya adalah sebagai berikut :

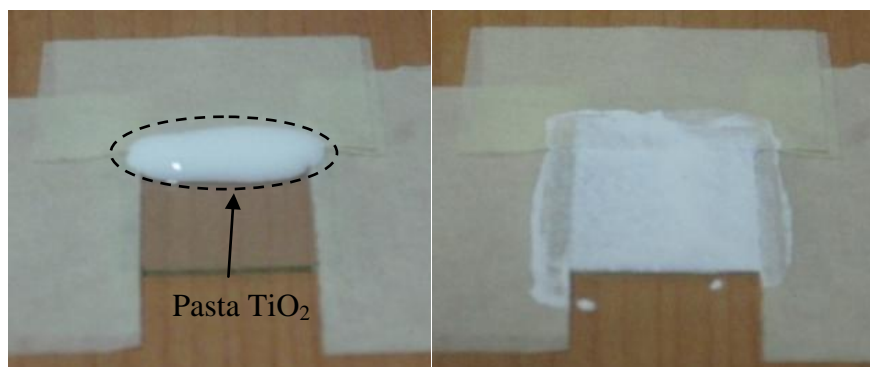
1. Membuat larutan binder, yaitu *Polyvinyl Alcohol* (PVA) 1.5 gram ditambahkan pada 13.5 ml aquades, selanjutnya campuran diaduk dengan *magnetic stirrer* pada temperatur  $40^\circ\text{C}$  selama kurang lebih 30 menit hingga larutan mengental dan homogen. PVA berfungsi sebagai pengikat dalam pembuatan pasta  $\text{TiO}_2$ .
2. Bubuk  $\text{TiO}_2$  ditimbang 0.5 gram, kemudian suspensi (PVA) yang telah dibuat ditambahkan pada bubuk  $\text{TiO}_2$  sebanyak 7,5 ml. Diaduk sampai menjadi bentuk pasta.

#### 4.2.5 Pelapisan Pasta $\text{TiO}_2$ pada Kaca TCO

Dibentuk area tempat  $\text{TiO}_2$  dideposisikan dengan bantuan masker pada bagian kaca yang konduktif sehingga terbentuk area sebesar  $2 \times 2 \text{ cm}^2$  dengan ilustrasi seperti dalam Gambar 4.4.



Gambar 4.3 Area pada Kaca TCO yang Telah Dibuat.



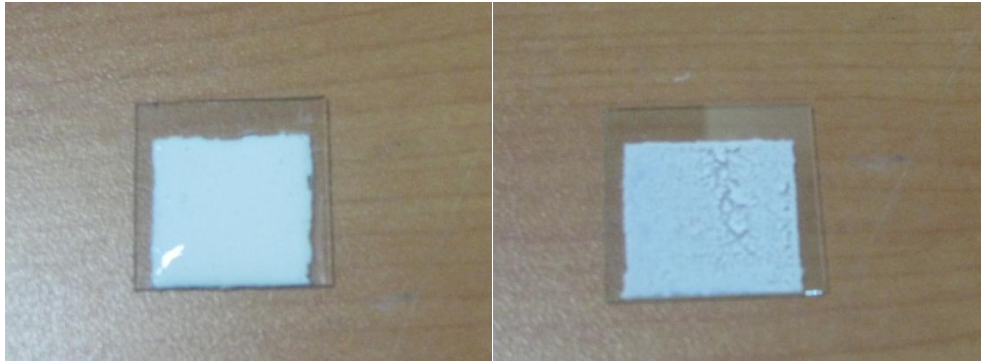
Gambar 4.4 Pasta  $\text{TiO}_2$  Sebelum (kiri) dan Sesudah (kanan) Dideposisi pada Kaca

Masker yang digunakan adalah *Scotch Tape*. *Scotch tape* berfungsi sebagai pengatur ketebalan pasta  $\text{TiO}_2$ , jika ingin pasta semakin tebal pada permukaan kaca maka *scotch tape* dapat ditumpuk berlapis-lapis sesuai dengan variasi yang diinginkan.

Pasta  $\text{TiO}_2$  dideposisikan di atas area yang telah dibuat pada kaca konduktif dengan metode *doctor blading* yaitu dengan bantuan batang pengaduk untuk meratakan pasta. Pasta yang telah diratakan menggunakan metode *doctor blading* ditunjukkan dalam Gambar 4.4.

#### 4.2.6 Proses *Firing* Pasta $\text{TiO}_2$

Pasta  $\text{TiO}_2$  yang telah rata pada permukaan kaca kemudian di-*firing* dalam tungku listrik selama 30 menit pada temperatur  $450^\circ\text{C}$  agar terjadi kontak yang baik antara pasta dengan kaca TCO. Pasta  $\text{TiO}_2$  yang telah melalui proses *firing* ditunjukkan dalam Gambar 4.5.



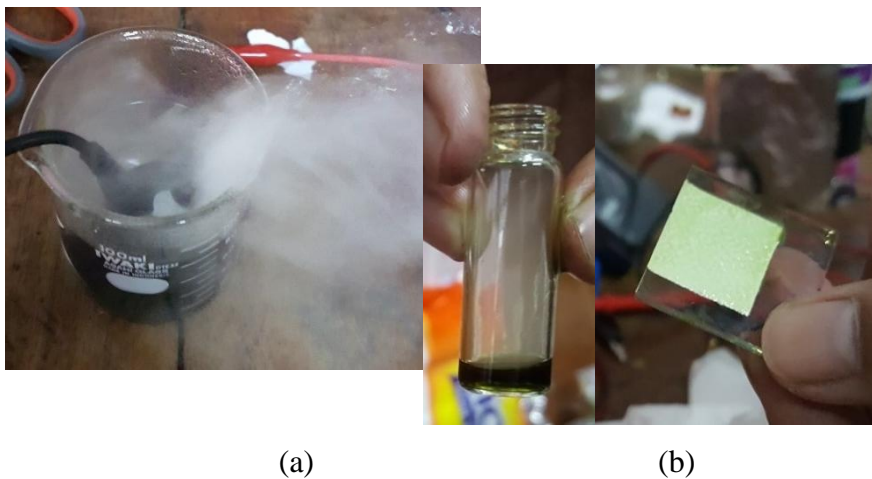
Gambar 4.5 Pasta  $\text{TiO}_2$  Sebelum (kiri) dan Sesudah (kanan) Melalui Proses *Firing*

#### 4.2.7 Pelapisan Larutan Klorofil (*Dye*) Dalam $\text{TiO}_2$

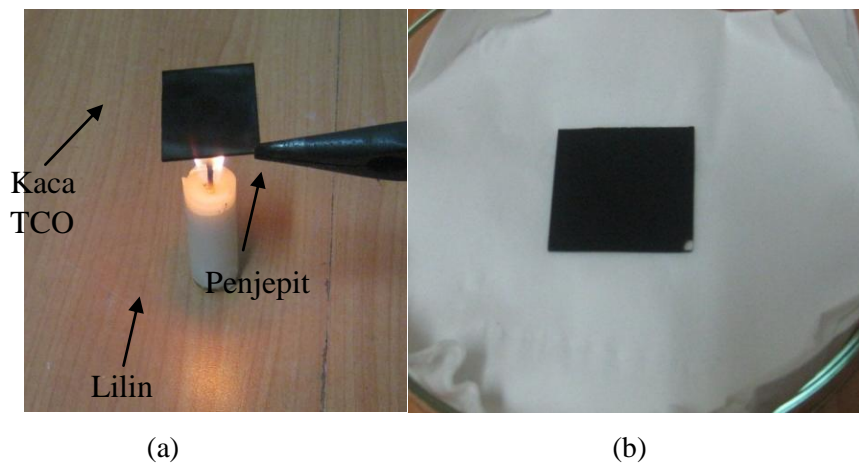
$\text{TiO}_2$  dilapisi larutan *dye* dengan menggunakan ultrasonic atomisasi, kemudian lapisan  $\text{TiO}_2$  akan menjadi berwarna hijau daun. Pada proses ini terjadi absorpsi klorofil ke permukaan  $\text{TiO}_2$ . Proses pelapisan *dye* ke  $\text{TiO}_2$  ditunjukkan pertahap dalam Gambar 4.6.

#### 4.2.8 Pembuatan *Counter-Electrode* Karbon

Pembuatan *counter-electrode* dilakukan dengan cara memanaskan sisi konduktif kaca TCO pada nyala api lilin selama kurang lebih 1 menit sampai karbon dengan rata menutupi sisi konduktif kaca TCO.



Gambar 4.6 (a) Mist maker, (b) wadah *dye*, dan (c) lapisan *dye* yang sudah terlapisi di  $\text{TiO}_2$



Gambar 4.7 (a) Proses Pembuatan *Counter-Electrode* (kiri) (b)*counter-electrode* yang Telah Jadi (kanan).

Karbon yang menempel pada kaca TCO ditentukan dimensinya sesuai dengan dimensi kaca TCO yang dilapisi pasta  $\text{TiO}_2$  yaitu  $2 \times 2 \text{ cm}^2$ . Proses pembuatan *counter-electrode* dan hasilnya ditunjukkan dalam Gambar 4.8.

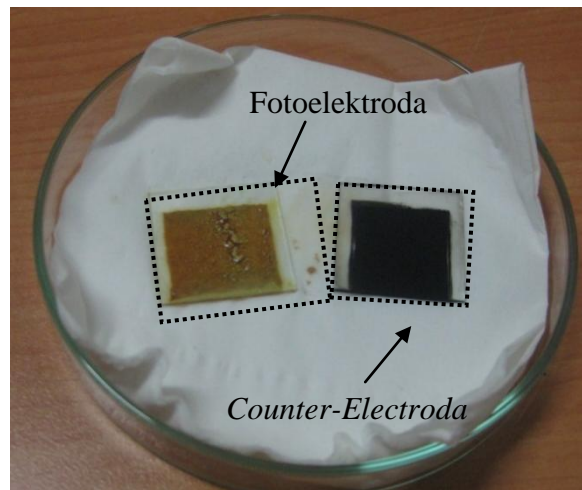
#### 4.2.9 Pemberian Elektrolit

Pemberian elektrolit dengan cara diteteskan menggunakan pipet sebanyak 5 tetes atau sebanyak 0,25 ml. Larutan elektrolit digunakan sebagai transpor elektron dari karbon ke *dye*. Lapisan fotoelektroda dan *counter-electrode* yang telah siap dirangkai ditunjukkan dalam Gambar 4.9.

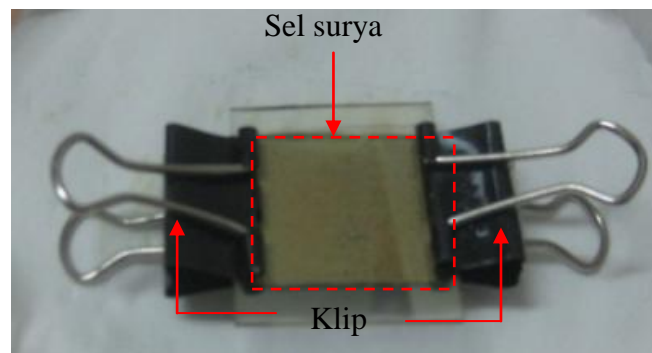
#### 4.2.10 Perakitan DSSC

Setelah masing-masing komponen DSSC berhasil dibuat dan telah siap, kemudian dilakukan proses perakitan untuk membentuk sel surya. Perakitan dilakukan dengan cara menempelkan kaca TCO fotoelektroda dengan kaca TCO *counter-electrode* dengan struktur berlapis dan kemudian dijepit dengan klip agar penempelan lebih rapat dan tidak bergeser. Scanning electron microscope (SEM) digunakan untuk melihat bentuk  $\text{TiO}_2$ . Bentuk  $\text{TiO}_2$  dengan perbesaran 4000 kali terdapat dalam Gambar 4.10.

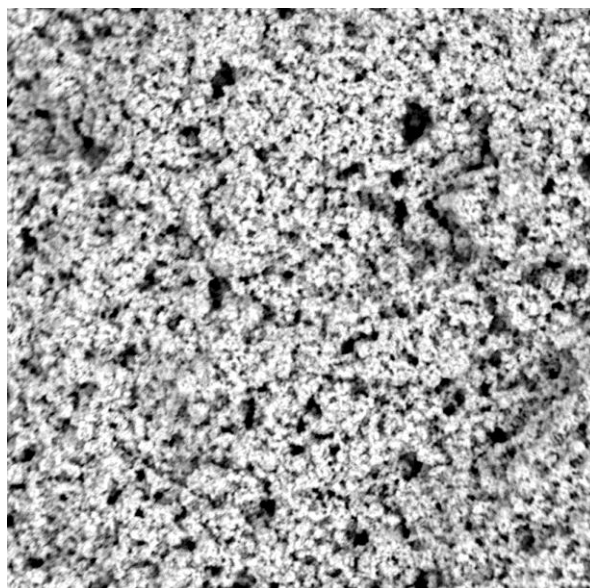




Gambar 4.8 Lapisan Fotoelektroda dan *Counter-Electrode* yang Telah Siap Dirangkai.



Gambar 4.9 Hasil Perakitan DSSC.



Gambar 4.10 Bentuk  $\text{TiO}_2$  dalam Perbesaran 4000 kali

### 4.3 Pengujian DSSC Tanpa *Dye* Pertama Terhadap Jarak dengan Lampu Pijar

Pengujian DSSC tanpa *dye* terhadap jarak lampu yang menggunakan lampu Philips Tornado 8 W diuji menggunakan Luxmeter TES-1332A dan Multimeter Sanwa CD800A. Variasi jarak lampu terhadap DSSC yaitu: 5 cm, 10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm dan 30 cm. Berikut adalah tabel dan grafik pengujian pencahayaan, tegangan dan arus terhadap jarak dalam Tabel 4.1.

Kondisi awal (tanpa diberi cahaya tambahan)

Tegangan : 1 mV

Arus : 0.2  $\mu$ A

Pencahayaan : 64 lux

Tabel 4.1 Pengukuran Pencahayaan, Tegangan dan Arus untuk DSSC Terhadap Jarak.

Jarak(cm)	Pencahayaan (lux)	Tegangan(mV)	Arus ( $\mu$ A)
5	40400	59,5	3,8
10	30500	49,4	2,9
15	20300	39,3	2
20	10200	29,3	1,1
25	8800	25,2	0,85
30	7300	18,3	0,6
35	5900	7,9	0,35

### 4.4 Pengujian DSSC Tanpa *Dye* Kedua Terhadap Jarak dengan Lampu Pijar

Pengujian DSSC tanpa *dye* kedua terhadap jarak lampu yang menggunakan lampu Philips Tornado 8 W diuji menggunakan Luxmeter TES-1332A dan Multimeter Sanwa CD800A. Variasi jarak lampu terhadap DSSC yaitu: 5, 10, 15, 20, 25 dan 30 cm. Berikut adalah tabel dan grafik pengujian pencahayaan, tegangan dan arus terhadap jarak dalam Tabel 4.2.

Kondisi awal (tanpa diberi cahaya tambahan)

Tegangan : -68 mV

Arus : -0.7  $\mu$ A

Pencahayaan : 64 lux



Tabel 4.2 Pengukuran Pencahayaan, Tegangan dan Arus untuk DSSC Terhadap Jarak.

Jarak (cm)	Pencahayaan (lux)	Voltage (mV)	Arus (uA)
5	40400	72,6	0,8
10	30500	68	0,7
15	20300	63,4	0,6
20	10200	58,8	0,5
25	8800	45,4	0,25
30	7300	31,6	0

#### 4.5 Pengujian DSSC dengan Dye Terhadap Jarak dengan Lampu Pijar

Pengujian DSSC dengan *dy* terhadap jarak lampu yang menggunakan lampu Philips Tornado 8 W diuji menggunakan Luxmeter TES-1332A dan Multimeter Sanwa CD800A. Variasi jarak lampu terhadap DSSC yaitu : 5, 10, 15, 20, 25 dan 30 cm. Berikut adalah tabel dan grafik pengujian Pencahayaan, tegangan dan arus terhadap jarak dalam Tabel 4.3.

Kondisi awal (tanpa diberi cahaya tambahan)

Tegangan : 1 mV  
 Arus : 0.2 uA  
 Pencahayaan : 64 lux

Tabel 4.3 Pengukuran Pencahayaan, Tegangan dan Arus untuk DSSC Terhadap Jarak.

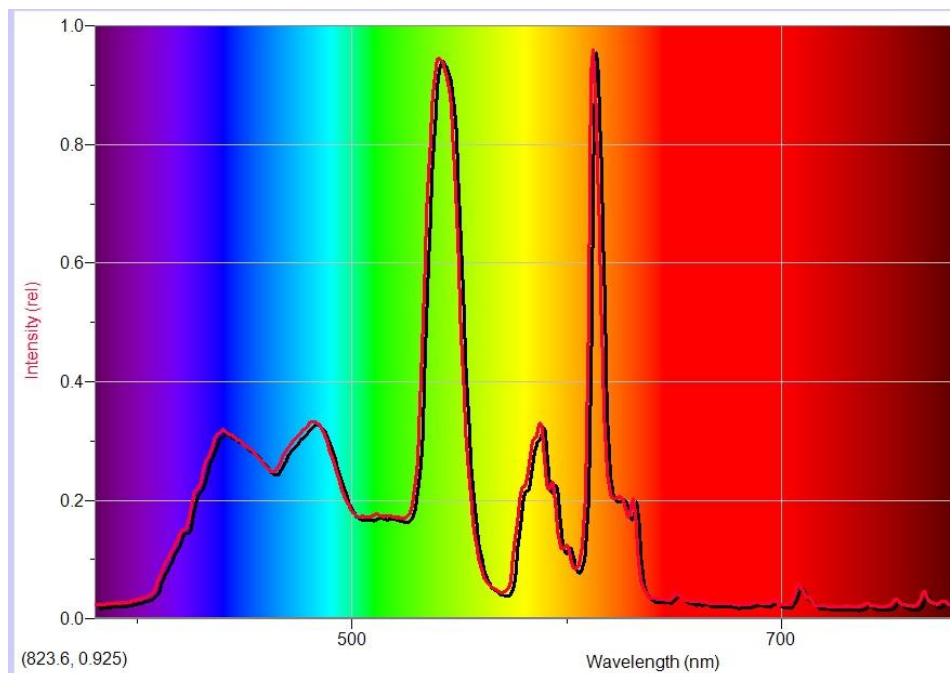
Jarak (cm)	Pencahayaan (lux)	Voltage (mV)	Arus (uA)
5	40400	105,6	4,6
10	30500	89,7	3,5
15	20300	73,8	2,4
20	10200	58,6	1,3
25	8800	43,4	0,9
30	7300	39,7	0,6

#### 4.6 Hasil Pengujian dan Analisa DSSC

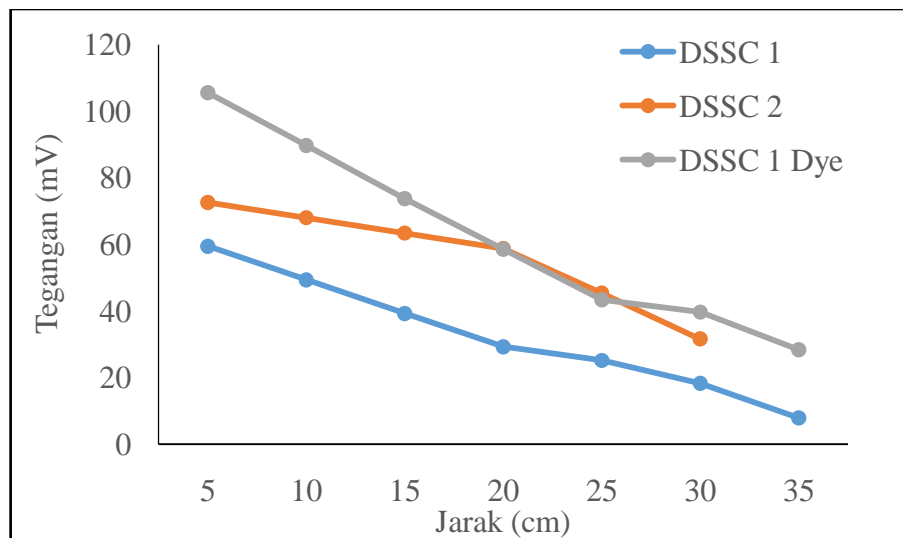
Pengujian DSSC bertujuan untuk mengetahui kinerja, tegangan, arus dan daya maksimal yang dapat dihasilkan oleh sel surya yang dirancang. Dan mengetahui pengaruh tingkat konsentrasi larutan *dye* terhadap keluaran sel. Alat yang digunakan dalam pengujian ini adalah sebagai berikut:

1. *Dye-Sensitized Solar Cell*
2. Lampu Philips Tornado 8 W
3. Spektrometer SpectroVis Plus
4. Rangkaian pengujian sel
5. Multimeter Sanwa CD800A
6. Multimeter Goldtool UT30B

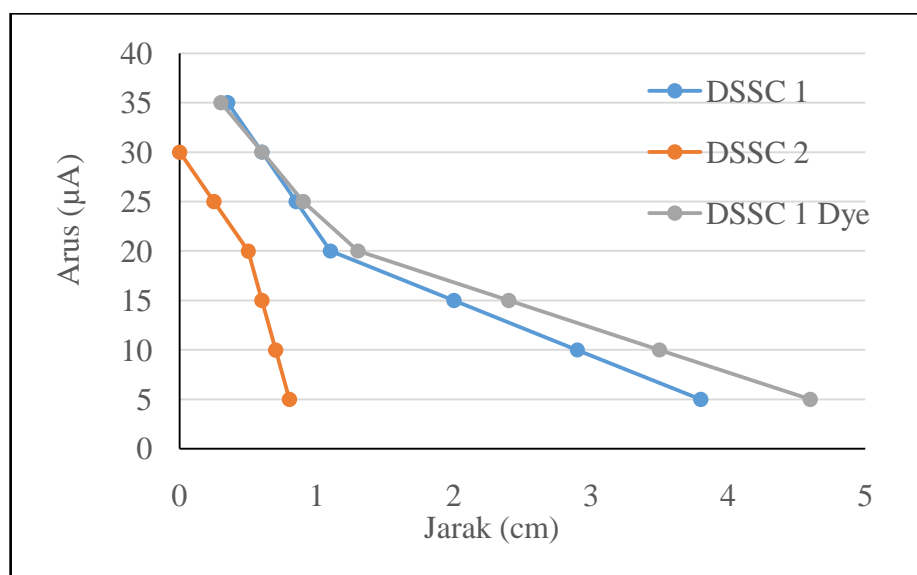
Hasil pengujian dari DSSC yang berhasil dibuat di komparasi dan di analisa. Lampu Philips tornado 8 W dilihat panjang gelombang dengan Spektrometer SpectroVis Plus dalam Gambar 4.11. Hasil komparasi antar DSSC dalam tegangan terhadap jarak dapat dilihat dalam Gambar 4.12 dan arus terhadap jarak dalam Gambar 4.13. Karakteristik Arus-Tegangan (I-V) diuji dengan cara menghubungkan sel dengan rangkaian uji kemudian diukur tegangan hubung terbuka (Voc).



Gambar 4.11 Panjang Gelombang dari Lampu Philips Tornado 8 W.



Gambar 4.12 Grafik Perbandingan Tegangan DSSC terhadap Jarak.



Gambar 4.13 Grafik Perbandingan Arus DSSC Terhadap Jarak.

Pengujian dilakukan dengan menggunakan lampu Philips tornado 8 W dengan pencahayaan sebesar 40.400 lux sebagai sumber cahaya. Setelah Voc dan Isc diketahui, kemudian dicari luasan maksimum dengan menggunakan

persamaan  $y = mx + C$ , dimana  $m = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}$ . Kemudian digunakan  $V_{MPP}$  dan

$I_{MPP}$  untuk mendapatkan *fill factor*(FF) dan daya maksimum (Pmax).

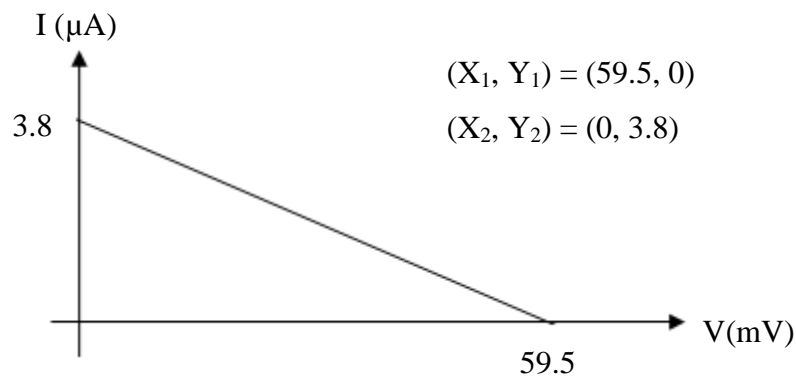
#### 4.6.1 Hasil Pengujian DSSC Pertama Tanpa Dye

Pada DSSC pertama tanpa dye, didapatkan hasil pengukuran Voc sebesar 59.5 mV dan Isc sebesar 3.8  $\mu$ A. Hasil pengukuran Voc dan Isc pada DSSC pertama tanpa dyetersebut kemudian dicari nilai 'm' dan 'y'.

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{3.8 - 0}{0 - 59.5} = -0.064$$

$$y = -0,064x + 3.8$$

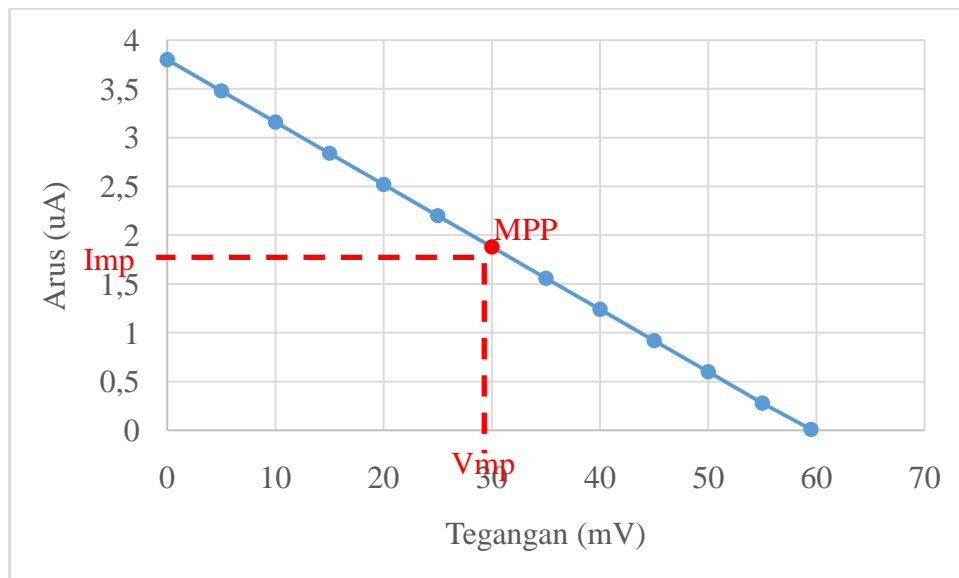
Setelah didapatkan persamaan y, persamaan y selanjutnya digunakan untuk menghitung luasan maksimum dari grafik karakteristik I-V. Perhitungan  $V_{MP}$  dan  $I_{MP}$  pada DSSC pertama tanpa dye ditunjukkan dalam Tabel 4.4. Grafik maksimum power point ditunjukkan dalam Gambar 4.15.



Gambar 4.14 Grafik perhitungan nilai m dan y

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan  $V_{MP}$  dan  $I_{MPP}$  DSSC Pertama Tanpa Dye.

$V_{mp}(mV)$	$I_{mp} (\mu A)$	Maksimum power point
0	3,8	0
5	3,48	17,4
10	3,16	31,6
15	2,84	42,6
20	2,52	50,4
25	2,2	55
30	1,88	56,4
35	1,56	54,6
40	1,24	49,6
45	0,92	41,4
50	0,6	30
55	0,28	15,4
59,5	0,01	0,595



Gambar 4.15 Grafik Karakteristik I-V pada DSSC Pertama Tanpa Dye

Data hasil perhitungan  $V_{MP}$  dan  $I_{MP}$  pada Tabel 4.4 menunjukkan bahwa  $V_{MP}$  dan  $I_{MP}$  pada DSSC pertama tanpa dye yaitu sebesar 150 mV dan 7.35  $\mu A$ . Kemudian nilai FF dicari menggunakan persamaan 2.1 dan  $P_{max}$  menggunakan persamaan 2.2 dengan cara sebagai berikut:

$$FF = \frac{V_{mp} \times I_{mp}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{30 \times 1.88}{59.5 \times 3.8} = \frac{56.4}{226.1} = 0.249$$

$$\begin{aligned} P_{max} &= V_{oc} \times I_{sc} \times FF \\ &= 59.5 \times 3.8 \times 0.249 \\ &= 56.3 \times 10^{-9} \text{ watt} \end{aligned}$$

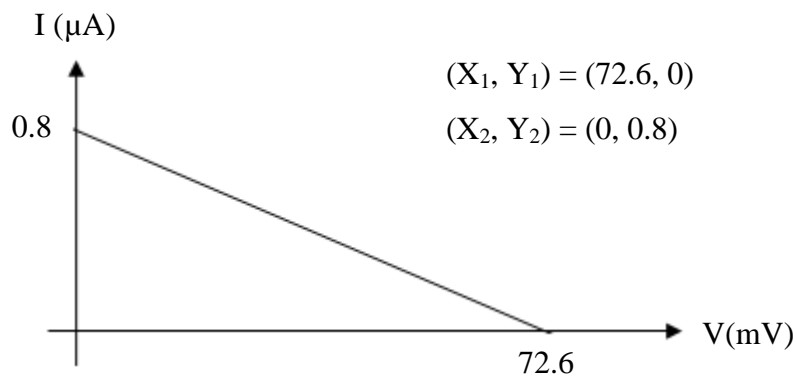
Pada DSSC pertama tanpa dye, didapatkan FF sebesar 0.253 dan Pmax sebesar  $56.3 \times 10^{-9}$  watt.

#### 4.6.2 Hasil Pengujian DSSC Kedua Tanpa Dye

Pada DSSC kedua tanpa dye, didapatkan hasil pengukuran Voc sebesar 72.6 mV dan Isc sebesar 0.8  $\mu$ A. Hasil pengukuran Voc dan Isc pada DSSC kedua tanpa dye tersebut kemudian dicari nilai 'm' dan 'y'.

$$\begin{aligned} m &= \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{0.8 - 0}{0 - 72.6} = -0.011 \\ y &= -0.011x + 0.8 \end{aligned}$$

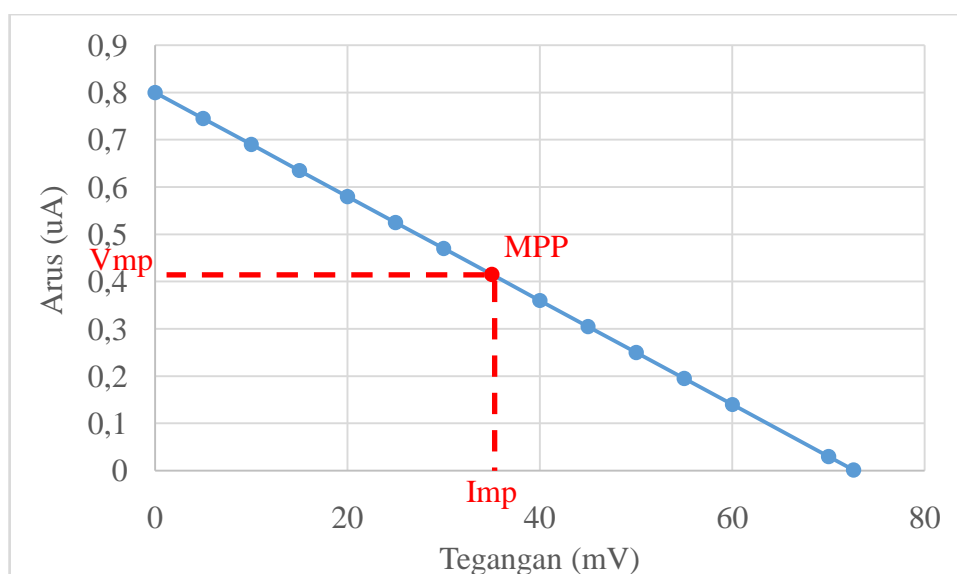
Setelah didapatkan persamaan y, persamaan y selanjutnya digunakan untuk menghitung luasan maksimum dari grafik karakteristik I-V. Perhitungan  $V_{MP}$  dan  $I_{MP}$  pada DSSC kedua tanpa dye ditunjukkan dalam Tabel 4.5. Grafik maksimum power point ditunjukkan dalam Gambar 4.17.



Gambar 4.16 Grafik perhitungan nilai m dan y

Tabel 4.5 Hasil Perhitungan  $V_{MP}$  dan  $I_{MPP}$  DSSC Pertama Tanpa Dye.

$V_{mp}(mV)$	$I_{mp} (uA)$	Maksimum power point
0	0,8	0
5	0,745	3,725
10	0,69	6,9
15	0,635	9,525
20	0,58	11,6
25	0,525	13,125
30	0,47	14,1
35	0,415	14,525
40	0,36	14,4
45	0,305	13,725
50	0,25	12,5
55	0,195	10,725
60	0,14	8,4
70	0,03	2,1
72,6	0,0014	0,102



Gambar 4.17 Grafik Karakteristik I-V pada DSSC Kedua Tanpa Dye.

Data hasil perhitungan  $V_{MP}$  dan  $I_{MP}$  pada Tabel 4.5 menunjukkan bahwa  $V_{MP}$  dan  $I_{MP}$  pada DSSC pertama tanpa dye yaitu sebesar 150 mV dan 7.35  $\mu A$ . Kemudian nilai FF dicari menggunakan persamaan 2.1 dan  $P_{max}$  menggunakan persamaan 2.2 dengan cara sebagai berikut:

$$FF = \frac{V_{mp} \times I_{mp}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{35 \times 0.415}{72.6 \times 0.8} = \frac{14.525}{58.08} = 0.279$$

$$\begin{aligned} P_{max} &= V_{oc} \times I_{sc} \times FF \\ &= 72.6 \times 0.8 \times 0.279 \\ &= 16.204 \times 10^{-9} \text{ watt} \end{aligned}$$

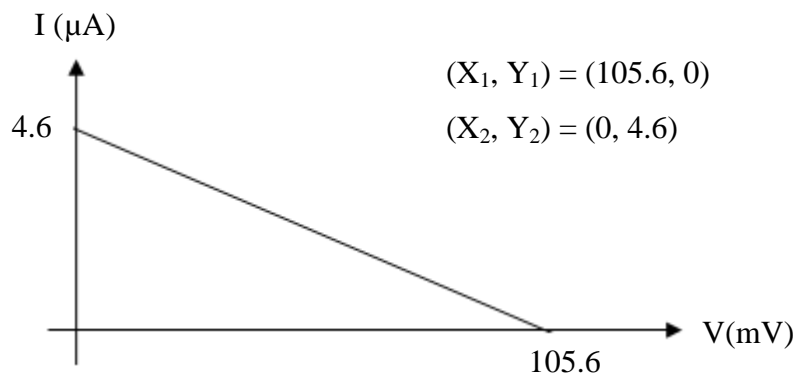
Pada DSSC pertama tanpa dye, didapatkan FF sebesar 0.279 dan Pmax sebesar  $16.204 \times 10^{-9}$  watt.

#### 4.6.3 Hasil Pengujian DSSC dengan Dye

Pada DSSC dengan dye, didapatkan hasil pengukuran Voc sebesar 72.6 mV dan Isc sebesar 4.6  $\mu$ A. Hasil pengukuran Voc dan Isc pada DSSC dengan dye tersebut kemudian dicari nilai 'm' dan 'y'.

$$\begin{aligned} m &= \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{4.6 - 0}{0 - 105.6} = -0.043 \\ y &= -0.043x + 4.6 \end{aligned}$$

Setelah didapatkan persamaan y, persamaan y selanjutnya digunakan untuk menghitung luasan maksimum dari grafik karakteristik I-V. Perhitungan  $V_{MP}$  dan  $I_{MP}$  pada DSSC kedua tanpa dye ditunjukkan dalam Tabel 4.6. Grafik maksimum power point ditunjukkan dalam Gambar 4.19.

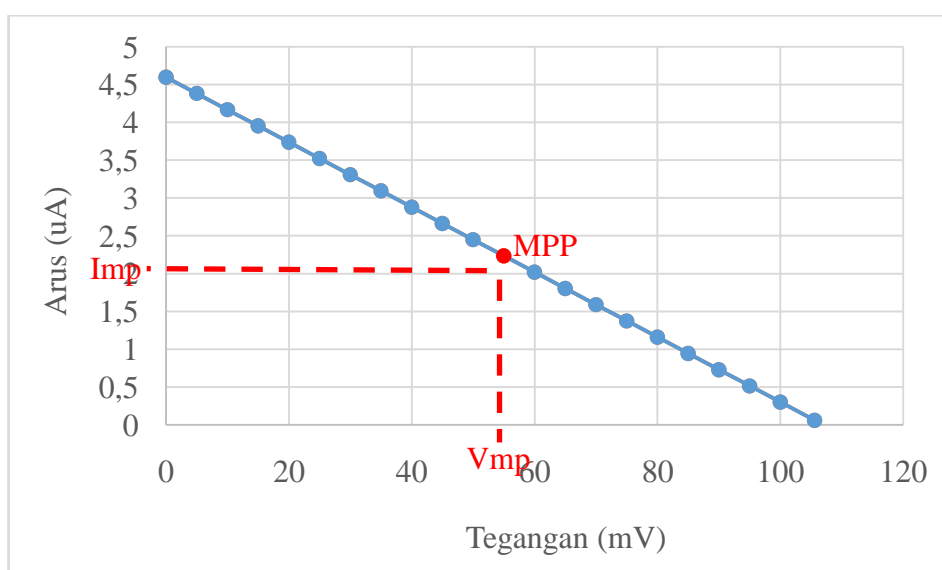


Gambar 4.18 Grafik perhitungan nilai m dan y



Tabel 4.6 Hasil Perhitungan  $V_{MP}$  dan  $I_{MPP}$  DSSC dengan Dye.

$V_{mp}(mV)$	$I_{mp} (uA)$	Maksimum power point
0	4,6	0
5	4,385	21,925
10	4,17	41,7
15	3,955	59,325
20	3,74	74,8
25	3,525	88,125
30	3,31	99,3
35	3,095	108,325
40	2,88	115,2
45	2,665	119,925
50	2,45	122,5
55	2,235	122,925
60	2,02	121,2
65	1,805	117,325
70	1,59	111,3
75	1,375	103,125
80	1,16	92,8
85	0,945	80,325
90	0,73	65,7
95	0,515	48,925
100	0,3	30
105,6	0,0592	6,25152



Gambar 4.19 Grafik Karakteristik I-V pada DSSC dengan Dye

Tabel 4.7 Karakteristik I-V dari DSSC

Unit	Voc (mV)	Isc (uA)	Pmax (nW)	FF
DSSC 1	59,5	3,8	56,3	0,249
DSSC 2	72,6	0,8	16,204	0,279
DSSC Dye	105,6	4,6	122,95	0,253

Data hasil perhitungan  $V_{MP}$  dan  $I_{MP}$  pada Tabel 4.7 menunjukkan bahwa  $V_{MP}$  dan  $I_{MP}$  pada DSSC pertama tanpa dye yaitu sebesar 150 mV dan 7.35  $\mu$ A. Kemudian nilai FF dicari menggunakan persamaan 2.1 dan Pmax menggunakan persamaan 2.2 dengan cara sebagai berikut:

$$FF = \frac{V_{mp} \times I_{m p}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{55 \times 2.235}{105.6 \times 4.6} = \frac{122.95}{485.76} = 0.253$$

$$\begin{aligned} P_{max} &= V_{oc} \times I_{sc} \times FF \\ &= 485,76 \times 0,253 \\ &= 122,95 \times 10^{-9} \text{ watt} \end{aligned}$$

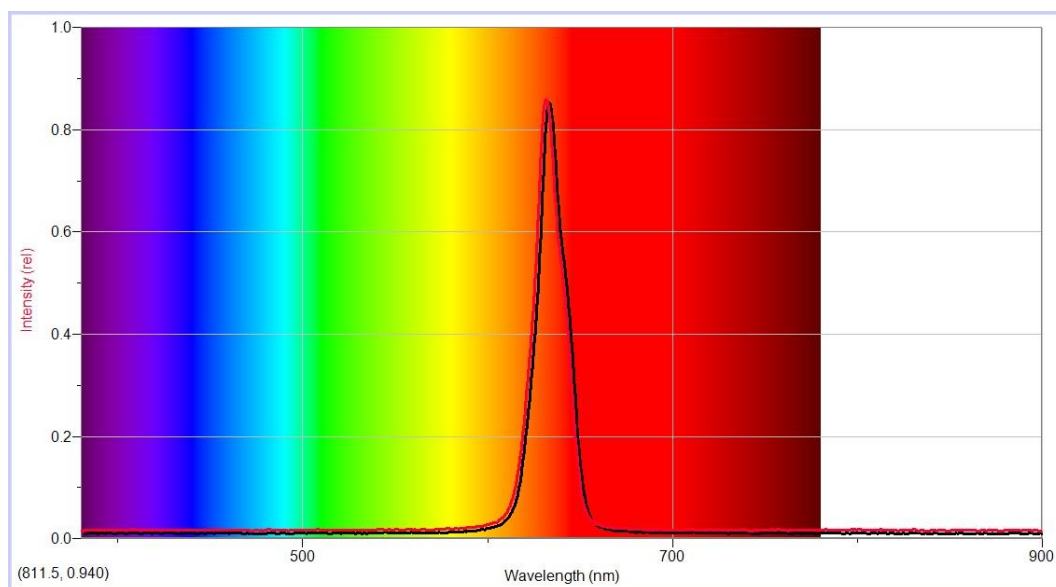
Pada DSSC dengan dye, didapatkan FF sebesar 0.303 dan Pmax sebesar  $122,945 \times 10^{-9}$  watt. Dari hasil pengujian DSSC dengan ketebalan  $TiO_2$ , didapatkan hasil keseluruhan seperti ditunjukkan dalam Tabel 4.7.

#### 4.7 Pengujian DSSC dengan Dye Terhadap Red Green Blue LED

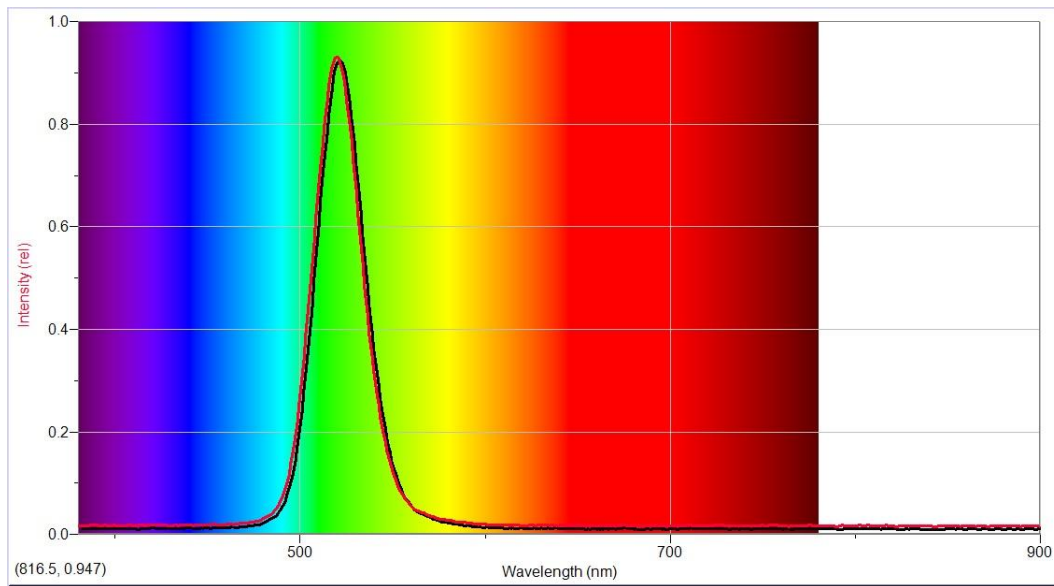
Pengujian DSSC dengan dye bertujuan untuk mengetahui kinerja, tegangan dan arus yang dapat dihasilkan dengan panjang gelombang dari light emitting diode (LED) merah, hijau, biru (RGB). Alat yang digunakan dalam pengujian ini adalah sebagai berikut:

1. *Dye-Sensitized Solar Cell* dengan dye
2. Spektrometer SpectroVis Plus
3. RGB LED dirangkai seri
4. Multimeter Sanwa CD800A
5. Multimeter Goldtool UT30B

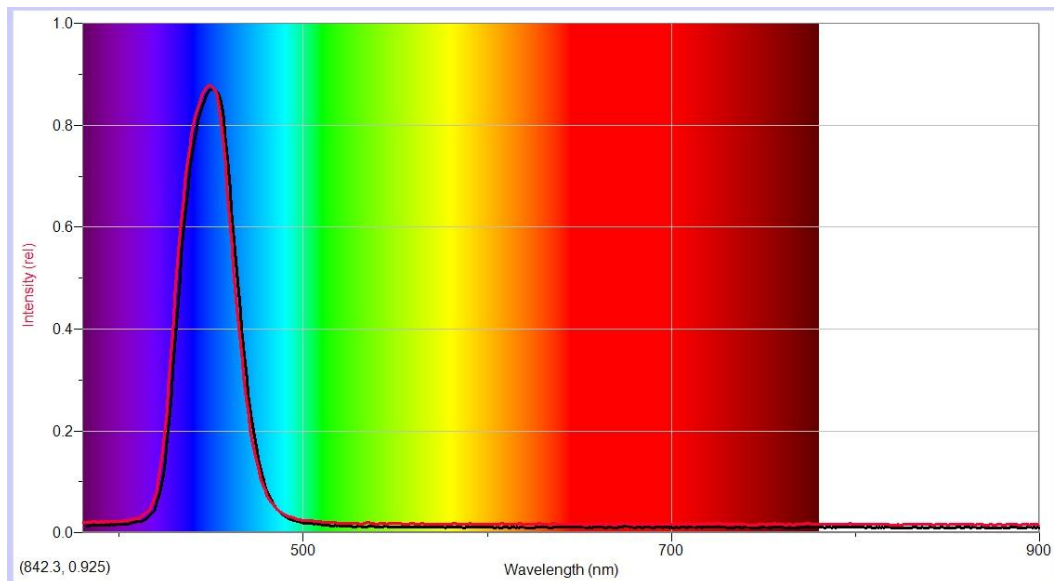
Pengujian dari DSSC dengan dye yang berhasil dibuat di uji dan di analisa. RGB LED dilihat panjang gelombang dengan Spektrometer SpectroVis Plus dalam Gambar 4.20, 4.21 dan 4.22. Pengujian dilakukan dengan menyamakan pencahayaan LED RGB sebesar 1540 lux di jarak 2 cm. Pengujian dilakukan dengan variasi jarak yaitu: 2, 4, 6, 8, 10 cm. Perbandingan antar LED RGB dengan lux yang sama ditunjukkan dalam Tabel 4.8. Hasil pengujian di komparasi untuk mendapatkan panjang gelombang paling efektif yang diserap DSSC. Grafik perbandingan tegangan dan arus keluaran antar LED RGB ditunjukkan dalam gambar 4.23 dan 4.24.



Gambar 4.20 Spektrum LED Merah dengan Panjang Gelombang 630 nm.



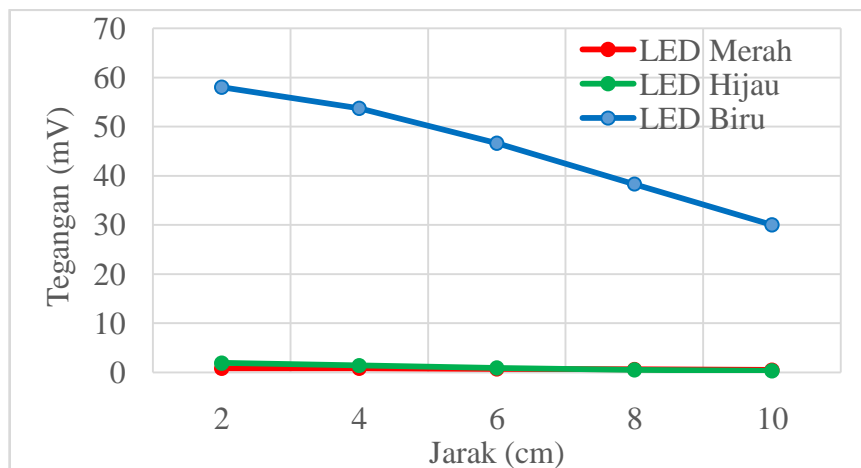
Gambar 4.21 Spektrum LED Hijau dengan Panjang Gelombang 520 nm.



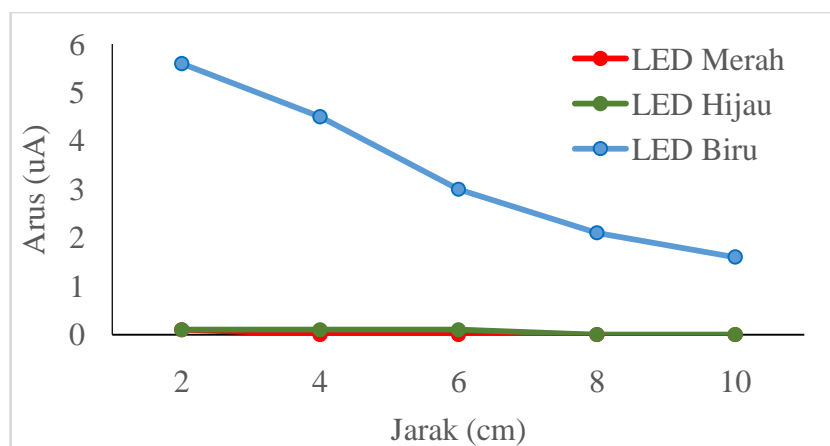
Gambar 4.22 Spektrum LED Biru dengan Panjang Gelombang 450 nm

Tabel 4.8 Perbandingan antar LED RGB dengan pencahayaan yang sama.

Distance (cm)	Red 7,8 V		Green 10,1 V		Blue 18V	
	Voltage (mV)	Current (uA)	Voltage (mV)	Current (uA)	Voltage (mV)	Current (uA)
2	0,8	0,1	1,9	0,1	58	5,6
4	0,8	0	1,4	0,1	53,7	4,5
6	0,7	0	0,9	0,1	46,6	3
8	0,6	0	0,5	0	38,3	2,1
10	0,5	0	0,3	0	30	1,6



Gambar 4.23 Perbandingan Tegangan Keluaran antar LED RGB.



Gambar 4.24 Perbandingan Tegangan Keluaran antar LED RGB.

Dari grafik 4.19 dan 4.20 dapat disimpulkan bahwa panjang gelombang yang paling bagus diserap oleh DSSC dengan dye adalah 450nm LED berwarna biru.

#### 4.8 Pengujian DSSC dengan Dye Terhadap Cahaya Matahari

Pengujian DSSC dengan dye terhadap cahaya matahari bertujuan untuk mengetahui tegangan dan arus yang dapat dihasilkan oleh sel surya yang dirancang dengan dye yang dilapiskan menggunakan ultrasonic atomizer. Pengujian dilakukan pada hari Minggu, 10 Juni 2018 pada jam 7 pagi sampai 6 sore. Hasil pencahayaan, tegangan dan arus dari DSSC dengan dye ditunjukkan dalam Tabel 4.9 dan pengujian dalam Gambar 4.25.

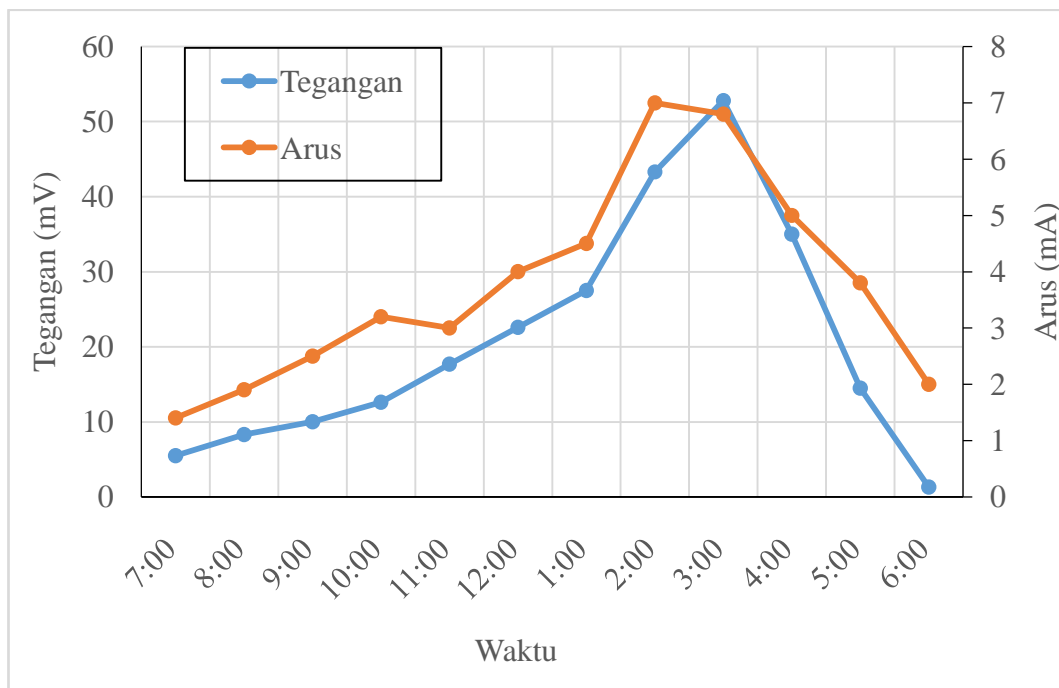
Tabel 4.9 Pengujian DSSC dengan Dye terhadap Cahaya Matahari

Waktu	Pencahayaan (lux)	Voltage (mV)	Current (uA)
7:00 AM	12200	5,5	1,4
8:00 AM	19800	8,3	1,9
9:00 AM	27000	10	2,5
10:00 AM	35000	12,6	3,2
11:00 AM	40000	17,7	3
12:00 AM	40600	22,6	4
1:00 PM	24000	27,5	4,5
2:00 PM	27400	43,3	7
3:00 PM	23400	52,8	6,8
4:00 PM	19400	35	5
5:00 PM	15400	14,5	3,8
6:00 PM	11400	1,3	2



Gambar 4.25 Pengujian Tegangan dan Pencahayaan DSSC terhadap Cahaya Matahari.

Pada Tabel 4.9 dapat diketahui bahwa nilai tegangan dan arus maksimal sebesar 52.8 mV pada pukul 03:00 PM dan 7  $\mu$ A pada pukul 02:00 PM. Sedangkan, nilai tegangan dan arus minimum sebesar 1.3 mV pada pukul 06:00 PM dan 1.4  $\mu$ A pada pukul 07:00 AM. Dari Tabel 4.9 dapat dilihat grafik perbandingan tegangan dan arus terhadap waktu dalam Gambar 4.26.



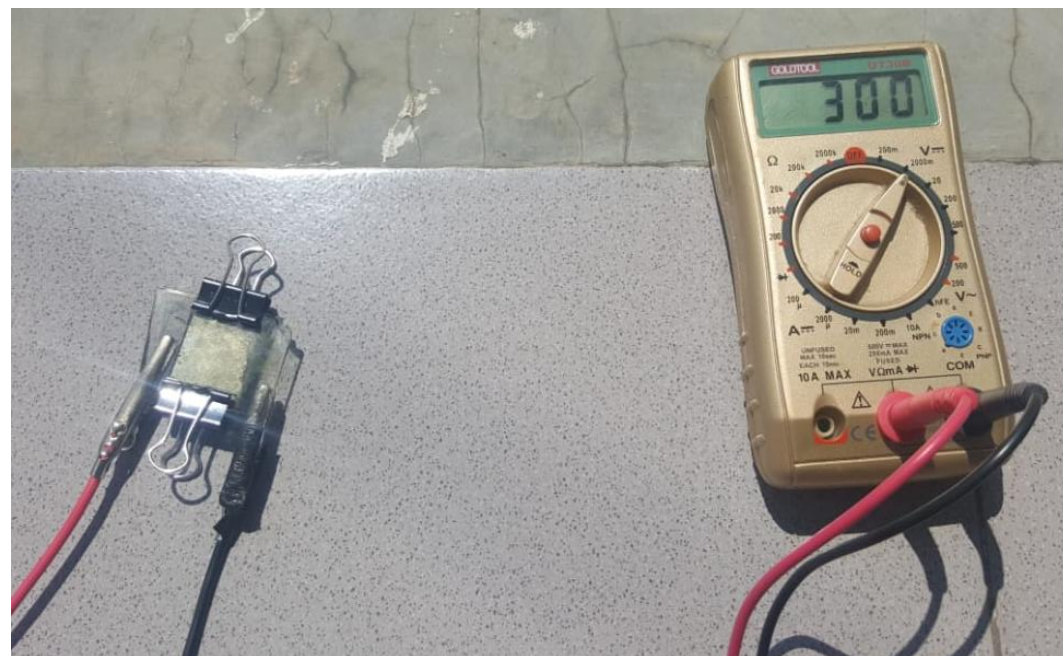
Gambar 4.26 Hasil Uji DSSC terhadap Sinar Matahari

#### 4.9 Perbandingan DSSC dengan Teknik Pelapisan Ultrasonic Atomisasi dan Tidak Menggunakan Teknik Pelapisan Terhadap Cahaya Matahari

Perbandingan DSSC dengan teknik pelapisan ultrasonic atomisasi dan tidak menggunakan teknik pelapisan terhadap cahaya matahari bertujuan untuk membandingkan tegangan dan arus yang dapat dihasilkan oleh sel surya yang dirancang dengan dye yang dilapiskan menggunakan ultrasonic atomizer dan tidak menggunakan ultrasonic atomizer. Pengujian dilakukan pada hari Minggu, 22 Juli 2018 pada jam 12 siang sampai 1 siang. Hasil tegangan dan arus dari DSSC dengan dye ditunjukkan dalam Tabel 4.10 dan pengujian dalam Gambar 4.27.

Tabel 4.10 Perbandingan DSSC Dye terhadap Cahaya Matahari

Dye	Pelapisan Ultrasonic		Tidak Pelapisan Ultrasonic	
	Tegangan (mV)	Arus ( $\mu$ A)	Tegangan (mV)	Arus ( $\mu$ A)
Pucuk Merah	132,7	7,6	52,1	6,2
Bayam	300	2,4	171	0,3
Cincau	66,4	5,2	49,3	5,3



Gambar 4.27 Pengujian Tegangan DSSC dengan Terlapisi Dye dari Bayam terhadap Cahaya Matahari.

Pemilihan dye daun bayam dan cincau sebagai pembanding dari DSSC yang terlapisi pucuk merah karena daun-daun tersebut mudah ditemukan dan terdapat banyak kandungannya. Pada Tabel 4.10 dapat diketahui bahwa nilai tegangan dan arus maksimal terdapat di DSSC yang terlapisi dye dengan menggunakan teknik pelapisan ultrasonic atomizer sebesar 300 mV pada dye bayam dan 7.6  $\mu$ A pada dye pucuk merah. Sedangkan, nilai tegangan dan arus minimum terdapat pada DSSC yang dilapisi dye dengan tidak menggunakan teknik pelapisan ultrasonic atomizer.



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

Berdasarkan hasil perancangan, pembuatan, dan pengujian sistem pada penelitian dengan judul “RANCANG BANGUN DYE SENSITIZED SOLAR CELL MENGGUNAKAN TEKNIK PELAPISAN ULTRASONIC ATOMIZER”, penulis dapat memberikan kesimpulan serta saran yang akan berguna bagi pengembangan penelitian ini.

#### **5.1 Kesimpulan**

Pada penelitian ini, 3 DSSC modul telah di fabrikasi dan dikarakterisasi. Modul Modul DSSC terdiri atas kaca TCO pertama sebagai foto elektroda terdiri dari  $\text{TiO}_2$  yang dilapisi ke TCO, organic dye dilapisi ke  $\text{TiO}_2$  dengan ultrasonic atomisasi, dan elektrolit. TCO kedua digunakan sebagai counter-electrode dengan cara dilapisi karbon. TCO yang digunakan adalah Indium Tin-doped Oxide(ITO). Permukaan  $\text{TiO}_2$ terlapisi dengan cairan dye dari klorofil daun pucuk merah (*Syzygium Oleana*). Pada penelitian ini modul DSSC yang terbaik adalah modul yang terlapisi dengan dye. Modul DSSC yang terlapisi dye menghasilkan tegangan open circuit sebesar 105,6mV, arus short circuit 4,6 $\mu$ A dan daya maksimal sebesar 122,95 nW. Penyerapan cahaya yang paling efektif dari DSSC yang terlapisi dye adalah cahaya biru dengna panjang gelombang 450 nm.

#### **5.2 Saran**

Saran-saran dalam pengimplementasian maupun peningkatan unjuk kerja sistem ini dapat diuraikan sebagai berikut:

- DSSC yang telah dirancang dan diuji dapat dilakukan dengan variasi teknik pelapisan pada substrat.
- Penambahan daya DSSC dilakukan dengan menggabungkan DSSC dengan rangkaian seri atau paralel.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR PUSTAKA

- Bisquert, J., Cahen, D., Hodes, G., Rühle, S., Zaban, A. (2004), "Review Articles: Physical Chemical Principles of Photovoltaic Conversion with Nanoparticulate, Mesoporous Dye-Sensitized Solar Cells," *Journal of Physical Chemistry B*, Vol.108, No. 24, hal. 8106-8118.
- Hamadani, M., Gravand, A., Farangi, M., Labbari, V. (2011), "The Effect of the Thickness of Nanoporous TiO<sub>2</sub> Film on the Performance of Nanocrystalline Dye-Sensitized Solar Cell", *5th SASTech*, hal. 1-9.
- Irwanto, M., Fitra, M., Gomes, N., Irwan, Y.M. (2013), "Effect of TiO<sub>2</sub> Thickness on Dye Sensitized Solar Cell Performance," *Proceedings of Seventh International PEOCO2013*, hal. 346-351.
- Kay, A. dan Grätzel, M. (1996), "Low Cost Photovoltaic Modules based on Dye Sensitized Nanocrystalline Titanium Dioxide and Carbon Powder," *Solar Energy Materials & Solar Cells*, Vol. 44, Issue 1, hal. 99-117.
- Lozano, A., Amaveda, H., Barreras F., Jorda, X., Lozano, M. (2003), "High-Frequency Ultrasonic Atomization with Pulsed Excitation", *Journal of Fluids Engineering*, Vol. 125, hal. 941-945.
- Maulana, E., Pramono, S.H., Fanditya, D., Julius, M. (2015), "Effect of Chlorophyll Concentration Variations from Extract of Papaya Leaves on Dye-Sensitized Solar Cell," *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Electrical and Computer Engineering*, Vol. 9, No. 1, hal. 49-52.
- Muhammad Rivai dan Tasripan (2015), "Fuel Qualification Using Quartz Sensors," *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, Vol. 10, No. 16, 2015, hal. 6737-6743.

- Muhammad Rivai, Arifin, A., Agustin, E.I. (2016), "Mixed Vapour Identification Using Partition Column-QCMs and Artificial Neural Network," *International Conference on Information, Communication Technology and System*, hal. 172-177.
- Narayan, M.R. (2012), "Review: Dye Sensitized Solar Cells based on Natural Photo Sensitizers" *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 16, hal. 208- 215.
- Nazeeruddin, Md.K., Baranoff, E., Grätzel, M. (2011). "Dye-Sensitized Solar Cells: A brief Overview," *Solar Energy*, Vol. 85, hal. 1172-1178.
- Pasquarelli, R., Ginley, D., O'Hayre, R. (2011), "Solution Processing of Transparent Conductors: from Flask to Film," *Chemical Society Reviews*, Vol. 40, Issue 11, hal.5406-5441.
- Pramono, S.H., Maulana, E., Julius, M., Utomo, T. (2013), "Organic Solar Cell based on Extraction of Papaya (*Carica papaya*) and Jatropha (*Ricinus communis*) Leaves in DSSC (Dye Sensitized Solar Cell)," *Proceeding of International Conference on Education, Technology and Science*, hal. 248-251.
- Pramono, S.H., Maulana, E., Prayogo, A.F., Djatmika, R. (2015), "Characterization of Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC) based on Chlorophyll Dye," *International Journal of Applied Engineering Research*, Vol. 10, No.1, hal. 193-205.
- Pramono, S.H., Maulana, E., Sembiring, M.A.R. (2015), "The Effect of Photoelectrode TiO<sub>2</sub> Layer Thickness to The Output Power of Chlorophyll-Based Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC)," *International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications*, hal. 107-111.
- Prastawa, A., Dalimi, R. (2013), "New Approach on Renewable Energy Solar Power Prediction in Indonesia Based on Artificial Neural Network Technique: Southern Region of Sulawesi Island Study Case," *International Conference on QiR (Quality in Research)*, hal.166-169.

- Sekretariat Jendral Dewan Energi Nasional. (2016), "*Outlook Energi Indonesia 2016*". Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, Jakarta.
- Shahid,M., Islam,S.U., Muhammad,F. (2013), "Recent Advancement in Natural Dye Application: A Review," *Journal of Cleaner Production*, hal.1-22.
- Shi,F., Xu,Z., Sun,X., Chen, M., Gao,X. (2013), "A Highly Efficient Method to Fabricate Titania Electrode Films Using Electrostatic Atomization," *International Conference on Materials for Renewable Energy and Environment*, hal. 98-101.
- Sujono, H.A.dan Muhammad Rivai (2014), "Vapor Identification System Using Quartz Resonator Sensor Array and Support Vector Machine," *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, Vol. 9, No. 12, hal. 2426-2430.
- Uthirakumar, A.P. (2011), "Fabrication of ZnO Based Dye Sensitized Solar Cells, Solar Cells - Dye-Sensitized Devices, Prof. Leonid A. Kosyachenko (Ed.)," *InTech*, hal. 436-456.
- Wang, Y., Lu, Z.Q., Du, G.W., Wang, X., Han, D.D., Liu, L.F., Wang, Y., Liu, X.Y., Kang, J.F. (2012), "Thickness Effect of Nanocrystal TiO<sub>2</sub> Photoanodes on Dye Sensitized Solar Cells (DSSC) Performances", *Proceedings of Eleventh International Conference on Solid-State and Integrated Circuit Technology (ICSICT)*, hal. 1-3.
- Yum, J.H., Kim, S.S., Kim, D.Y., Sung, Y.E. (2005), "Electrophoretically deposited TiO<sub>2</sub> photo-electrodes for use in flexible dye-sensitized solar cells," *Journal of photochemistry and photobiology A: Chemistry*, Vol.173, hal. 1-6.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## LAMPIRAN

### 1. Gambar Daun Pucuk merah



Daun dikumpulkan dan dibersihkan



Daun dipilih berdasarkan tingkat kemerahan





Daun pucuk merah ditimbang lalu disiapkan ke dalam mortar untuk ditumbuk.



Daun pucuk merah setelah ditumbuk

## 2. Gambar Daun Bayam



Bayam di rendam dengan aquades



Lalu bayam dibersihkan dan dipisah

### 3. Gambar daun cincau



Daun cincau sudah dibersihkan





Daun cincau dipotong dari tulang daun lalu ditimbang

4. Gambar stirring Daun



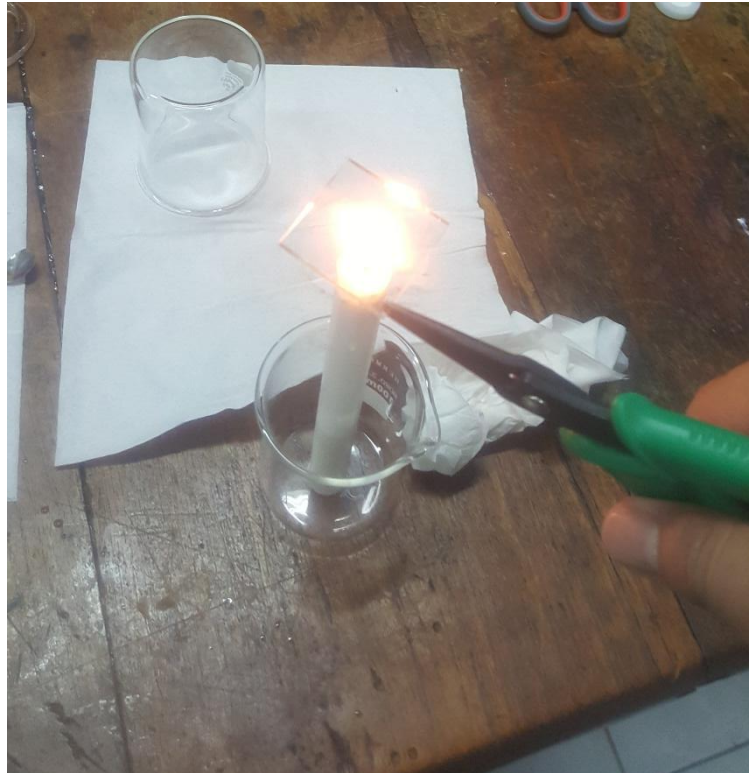
5. Gambar pelapisan  $\text{TiO}_2$  ke Substrat



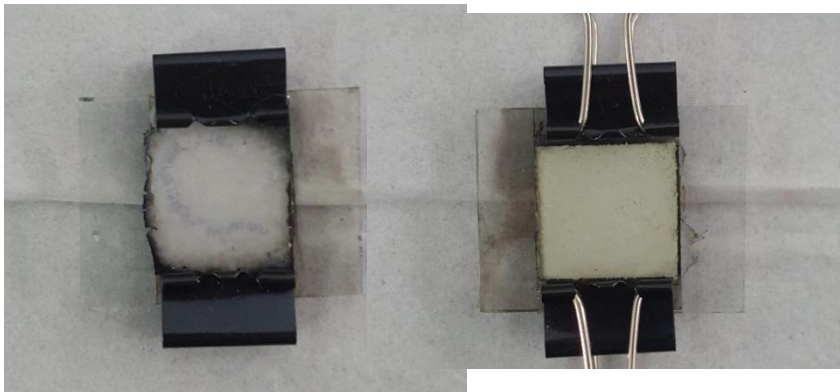
6. Gambar Pengeringan  $\text{TiO}_2$  didalam oven



7. Gambar pelapisan karbon ke substrat dengan cara membakar subtrat dengan lilin

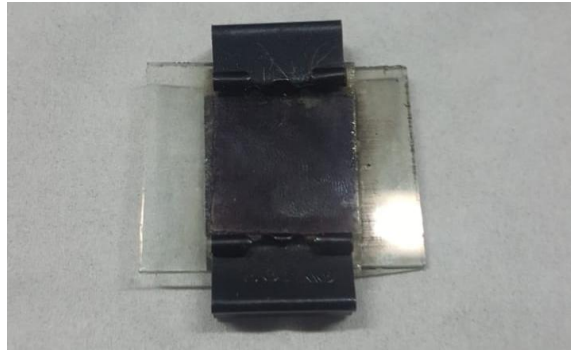


8. Gambar hasil DSSC

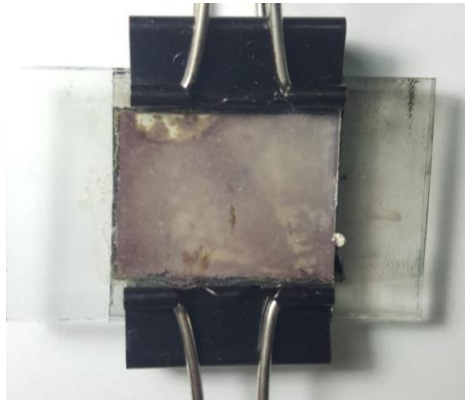


DSSC tanpa Dye

DSSC tanpa dye ke2

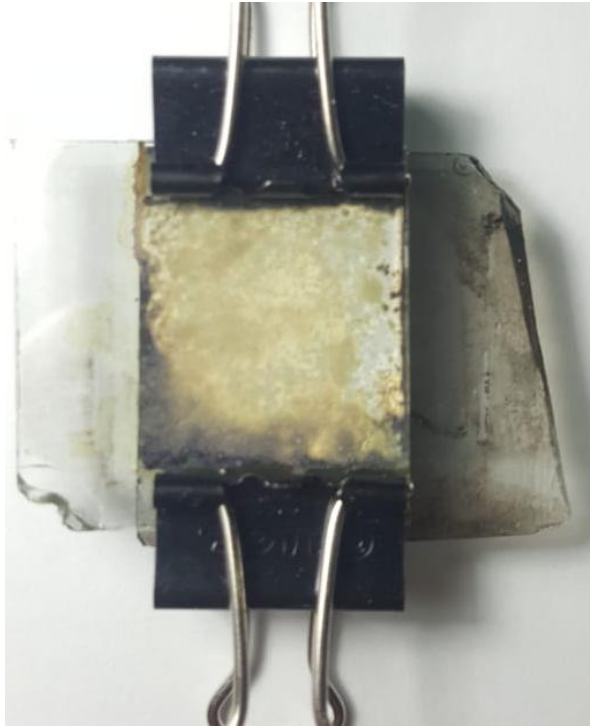


DSSC terlapisi dye pucuk merah dengan teknik pelapisan ultrasonic atomizer

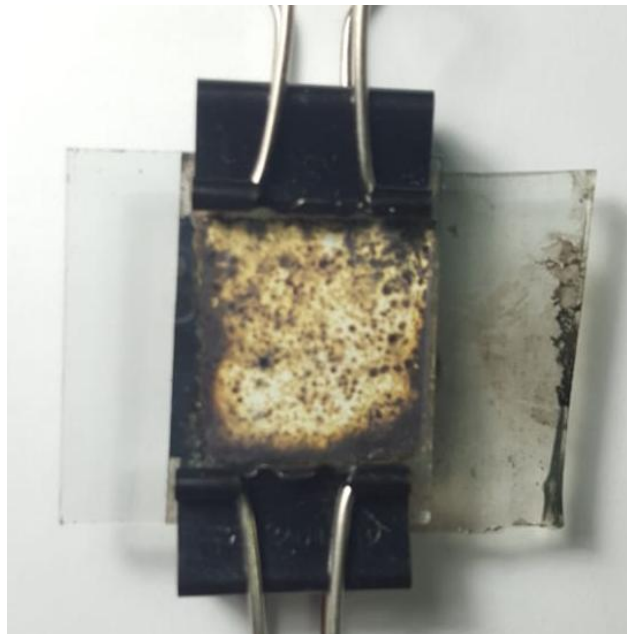


DSSC terlapisi dye pucuk merah tanpa teknik pelapisan ultrasonic atomizer

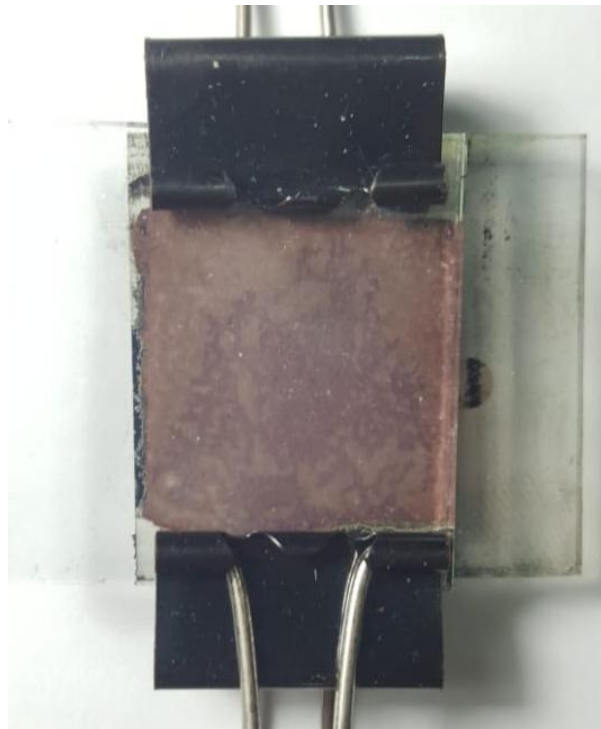




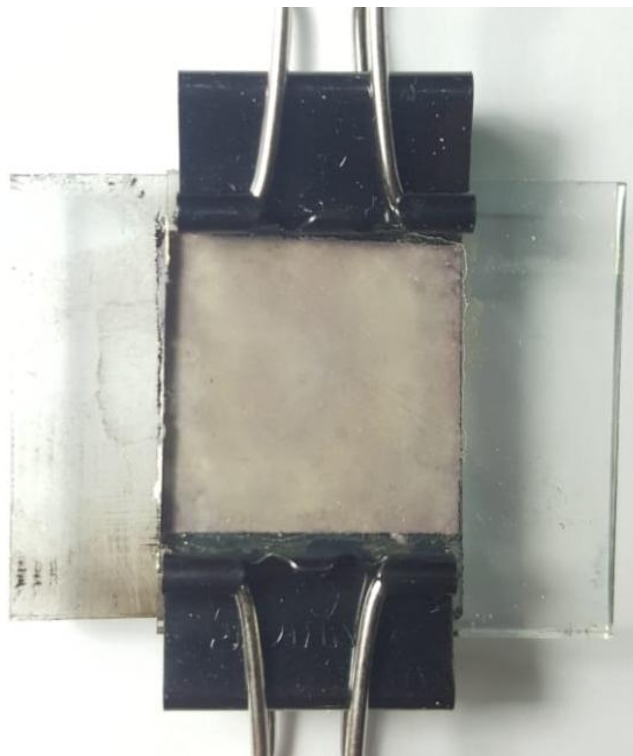
DSSC terlapisi dye bayam dengan teknik pelapisan ultrasonic atomizer



DSSC terlapisi dye bayam tanpa teknik pelapisan ultrasonic atomizer

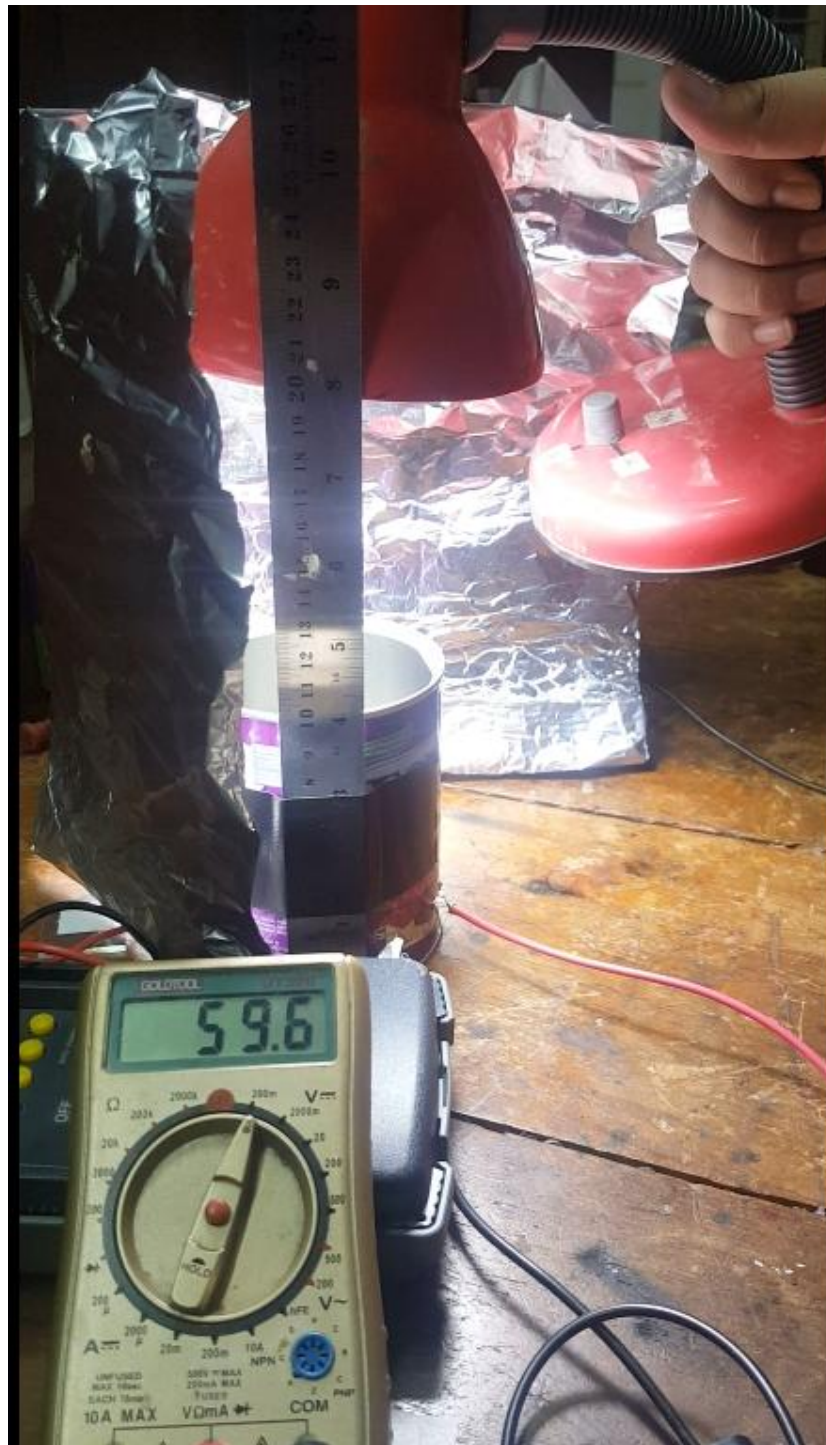


DSSC terlapisi dye cincau dengan teknik pelapisan ultrasonic atomizer



DSSC terlapisi dye cincau tanpa teknik pelapisan ultrasonic atomizer

9. Gambar pengujian DSSC



Pengujian Tegangan DSSC terhadap Lampu Philips Tornado 8 W

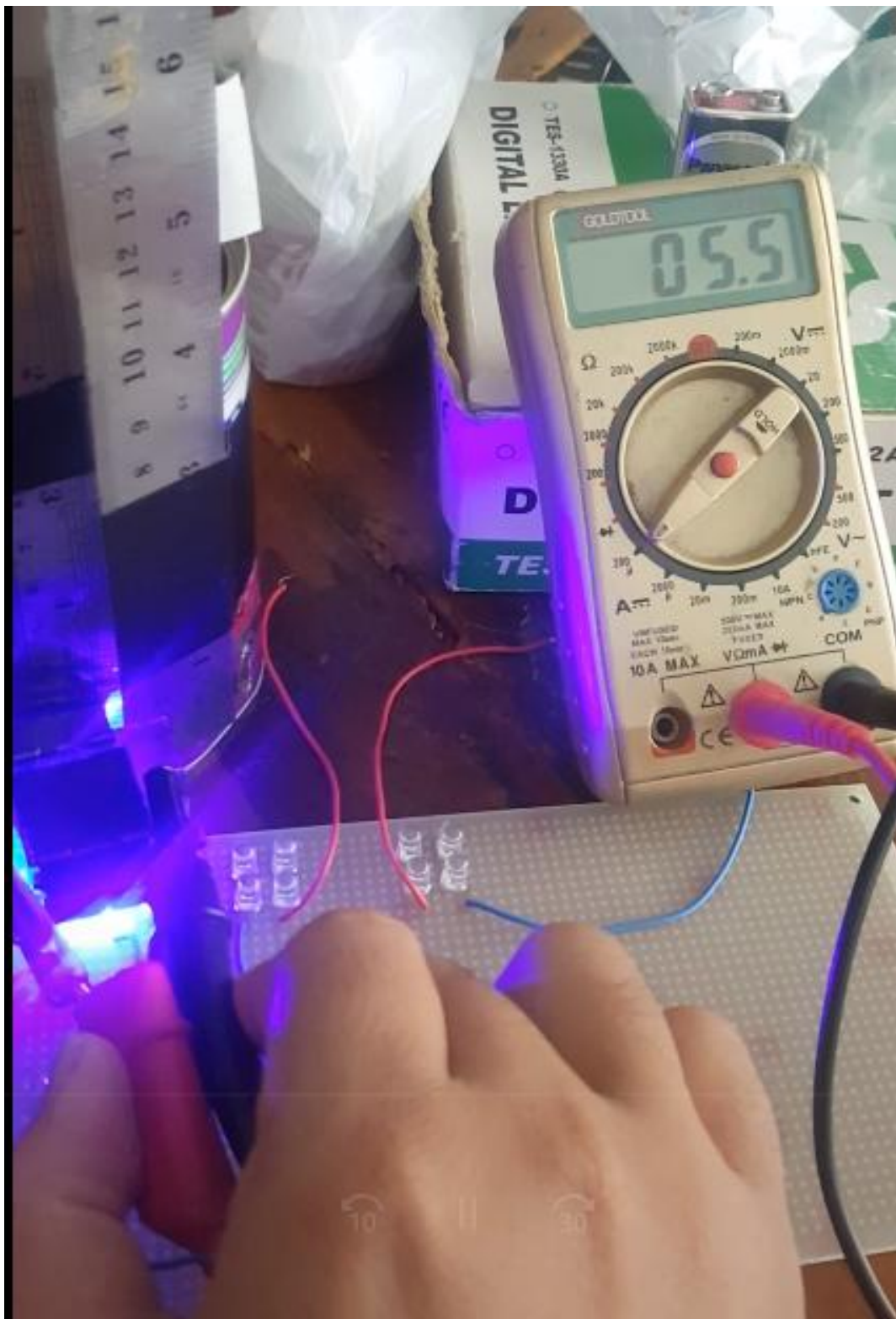


Pengujian Arus DSSC terhadap Lampu Philips Tornado 8 W





Pengujian LED terhadap lux meter

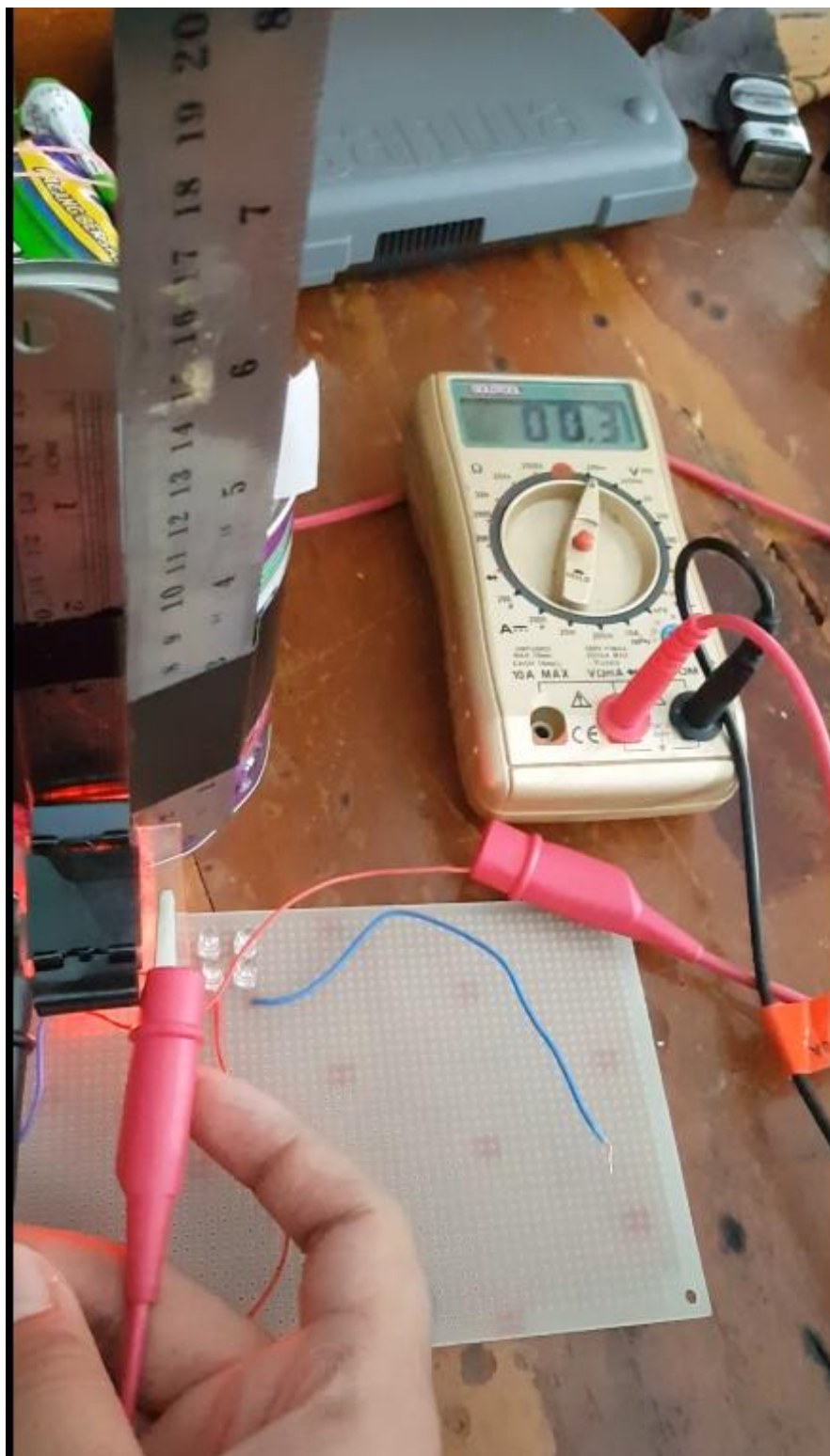


Pengujian LED biru



Pengujian LED hijau





Pengujian LED merah





Pengujian DSSC terhadap cahaya matahari



Pengujian DSSC terhadap cahaya matahari



Pengujian DSSC terhadap cahaya matahari



Pengujian DSSC terhadap cahaya matahari

Tabel Perbandingan antar LED dengan daya input yang sama

Perbandingan antar LED dengan daya input yang sama						
Distance (cm)	Red 7,8 V		Green 10,1 V		Blue 18V	
	Voltage (mV)	Current (uA)	Voltage (mV)	Current (uA)	Voltage (mV)	Current (uA)
2	0,2	0,1	0,8	0,1	58	5,6
4	0,2	0	0,3	0,1	53,7	4,5
6	0,1	0	-0,2	0,1	46,6	3
8	0	0	-0,6	0	38,3	2,1
10	0	0	-0,8	0	30	1,6



## **RIWAYAT HIDUP PENULIS**



Muhammad Aulia Rahman Sembiring dilahirkan di Medan, 15 September 1993. Merupakan anak kedua dari dua bersaudara pasangan Bapak Karyawan Sembiring dan Ibu Risdah Rambe. Penulis memulai pendidikan di Sekolah Dasar Islam Plus Pekanbaru pada tahun 1999-2005, kemudian melanjutkan pendidikan di Sekolah Menengah Pertama Islam Terpadu Rumbai pada tahun 2005-2008. Selanjutnya penulis melanjutkan di Sekolah Menengah Atas InternationalIslamic Boarding School Lippo Cikarang pada tahun 2008-2010. Setelah itu penulis menempuh pendidikan tinggi pada Program Sarjana di Universitas Brawijaya dan menyelesaikan pendidikan pada tahun 2015. Setelah menyelesaikan pendidikan tahap sarjana, selanjutnya penulis menempuh pendidikan di Program Magister Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan bidang keahlian Teknik Elektronika pada tahun 2015.